



Universidad
Carlos III de Madrid

DESARROLLO DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN BASADO EN METODOLOGÍA LEAN MANUFACTURING

Trabajo fin de grado

06/2017
Grado en Ingeniería Mecánica
Mario Rodríguez castro

Tutor: Xavier Soldani



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de figuras	4
Índice de tablas	6
Índice de gráficas	7
1. Introducción	8
2. Historia de la fabricación	10
2.1. Evolución de la producción	11
2.2. Nuevas formas de organizar la producción	13
3. Lean Manufacturing	14
3.1. Origen	15
4. ThyssenKrupp AG	19
4.1. Introducción al mundo de la elevación	20
4.2. Componentes de seguridad	22
4.2.1. Limitador de velocidad	22
4.2.2. Paracaídas	23
4.3. ThyssenKrupp Lean Approach. Production System	23
5. Desarrollo de una línea de producción basado en la metodología Lean Manufacturing	27
5.1. Toma de datos	31
5.2. Planning del proyecto	37
5.3. Análisis de los materiales. PFEP	40
5.4. Elaboración del Layout	49
5.4.1. Layout borde de línea	53
5.4.2. Layout supermercado	56
5.5. Creación de estándar. IT-IFA	62
5.5.1. Hoja de ruta Operador Logístico. LO-IFA	64
5.6. Cronometraje. Balanceo de Línea	65
5.6.1. Introducción	65
5.6.2. Cronometraje	66
5.6.3. Comparativa Before-After	69
5.7. Spaghetti Chart	71
6. Kaizen	74
6.1. VSM – VSD	75
6.2. SQDC	79
6.3. Matriz de polivalencia	81
6.4. Estudio Ergonómico	82
6.5. Auditorías 6S	83
6.6. Sostenibilidad	85



6.7. Datamatrix	86
7. Resultados	87
7.1. Desarrollo de nuevas líneas de trabajo.	92
7.1.1. Tuerca Inviolable	92
7.1.2. RFID	94
8. Presupuesto del proyecto	95
8.1. Inversiones y gastos.	96
8.2. Retorno de la Inversión	97
9. Conclusión	98
10. Bibliografía.	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura1. Cronología de la historia de la fabricación (1)	16
Figura2. Cronología de la historia de la fabricación (2)	17
Figura3. Tipos de desperdicio concebidos en Lean Manufacturing	18
Figura4. Elementos mecánicos de un ascensor	21
Figura5. Limitador de Velocidad SG-N TKEMF	22
Figura6. Paracaídas progresivo TKEMF	23
Figura7. Círculo de Deming TKEMF	24
Figura8. Ejemplo de herramientas estándar antes y después	26
Figura9. Gráfico PDCA	28
Figura10. Panel PDCA ThyssenKrupp MC Móstoles	29
Figura11. Ficha de proyecto Nueva Línea Limitadores de Velocidad	30
Figura12. Principales ineficiencias dentro de un proceso productivo	31
Figura13. Registro de producción R0	32
Figura14. Registro de producción R1	32
Figura15. Registro de producción R2	33
Figura16. Pizarra producción diaria Línea ELEMENT	33
Figura17. Gráfico de movimiento de valor y no valor añadido	36
Figura18. Plan de acción Proyecto “Nueva línea de Limitador de Velocidad”	38
Figura19. Filosofía de trabajo TKPS (ThyssenKrupp Production System)	39
Figura20. Diagrama de flujo JIS 1	41
Figura21. Diagrama de flujo JIS 2	42
Figura22. Diagrama de flujo JIS 3	42
Figura23. Diagrama de flujo JIS 4/5	42
Figura24. Diagrama de flujo JIT	43
Figura25. Diagrama de flujo Indirect 1	43
Figura26. Diagrama de flujo Indirect 2	43
Figura27. Diagrama de flujo Indirect 3	44
Figura28. Diagrama resumen tipos de flujo de material recomendado	44
Figura29. Diagrama de llamada Kanban	45
Figura30. Diagrama de llamada Secuenciado	45
Figura31. Pre-layout Línea SG-N según PFEP	49
Figura32. Ejemplo de buenas prácticas. (Ergonomía)	49
Figura33. Colocación de materiales en Línea	50
Figura34. Layout inicia Línea SG-N	50
Figura35. Layout Futuro Línea SG-N	51
Figura36. 3D Layout Futuro Línea SG-N	52
Figura37. Plano Layout Línea Nueva SG-N	52

Figura38. FIFO (First in-First out)	53
Figura39. Sistema Push vs Pull	54
Figura40. Layout Materiales en KANBAN (Gavetas)	54
Figura41. Listado de referencia de código en gaveta normalizada	55
Figura42. Sistema de llamada KANBAN	56
Figura43. FCS (Ficha Condiciones de Suministro) (1)	58
Figura44. FCS (Ficha Condiciones de Suministro) (2)	59
Figura45. Layout Supermercado/Almacén material SG-N	59
Figura46. Modelos de ubicación de material en estantería	60
Figura47. Estanterías dinámicas área de supermercado Línea SG-N	61
Figura48. Formato estándar IT-IFA en TKEMF	62
Figura49. IT-IFA Premontaje SG-N TKEMF	63
Figura50. Nuevo formato estándar IT-IFA TKEMF	63
Figura51. LO.IFA Tren Logístico	64
Figura52. Ejemplo de formato estándar Cronometraje	66
Figura53. Layout Línea SG-N	67
Figura54. Configuración de trabajo con nuevas capacidades máquina	69
Figura55. Comparativa de tiempos Before vs After	70
Figura56. Spaguetti Chart inicial Línea SG-N	71
Figura57. Spaguetti Chart futuro Línea SG-N	72
Figura58. Concepto VSM (1)	75
Figura59. Concepto VSM (2)	75
Figura60. VSM Línea SG-N	76
Figura61. VSC (Current Value Stream mapping) Línea SG-N	77
Figura62. VSD Línea SG-N	78
Figura63. Formato estándar Panel SQDC TKEMF	79
Figura64. Flujo de proceso SQDC	80
Figura65. Panel SQDC Área de componentes	81
Figura66. Matriz de polivalencia Área de componentes en TKEMF	81
Figura67. Criterios de cumplimentación Mapa ergonómico	82
Figura68. Antes y después de almacenaje de material de proveedor	85
Figura69. Ejemplo utilización del sistema Datamatrix	86
Figura70. Mejora Lead Time Línea SG-N	90
Figura71. Mejora Muri propuesta para Puesto de Acabado SG-N	91
Figura72. Análisis de mejora ergonómica	91
Figura73. Capacidad de la línea por máquina de regulación	92
Figura74. Análisis de mejora ergonómica	93
Figura75. Etiqueta RFID	94
Figura76. Arco detector de código RFID	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de pérdidas Línea SG-N. Gasto 15/16	34
Tabla 2. Tendencia de consumos Mayo-Agosto 2015	36
Tabla 3. Tipología de material según herramienta PFEP	40
Tabla 4. Matriz de flujo PFEP	40
Tabla 5. PFEP general de componentes SG-N	46
Tabla 6. Nivel de detalle de PFEP SG-N	47
Tabla 7. Estimación Lote Ficha Condiciones de Suministro	57
Tabla 8. Estudio de Lotes por referencia	57
Tabla 9. Resultados Cronometraje SG-N Tipo 1	67
Tabla10. Resultados Cronometraje SG-N Tipo 2	68
Tabla 11. Balanceo de tiempos. Corrección a cuello de botel	68
Tabla 12. Comparativa before vs after de m/SG-N	72
Tabla 13. Estudio NVAA SG-N	73
Tabla 14. Mapa ergonómico Puesto de Acabado SG-N en TKEMF	83
Tabla 15. Formato 6S TKEMF	84
Tabla 16. Plan empresarial de reducción de residuos	85
Tabla 17. Análisis de coste Tuerca Inviolable	93
Tabla 18. Inversión Nueva Línea SG-N	96
Tabla 19. ROI Nueva Línea SG-N	97



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico1. Pareto pérdidas Línea SG-N. Gasto 15/16	35
Gráfico2. Diagrama de Gantt Proyecto “Nueva línea de Limita	37
Gráfico3. Material Kanban vs Secuenciado	48
Gráfico4. VAA vs NVAA SG-N	73
Gráfico5. Matriz de pérdidas Enero 2016	88
Gráfico6. Matriz de pérdidas Febrero 2016	88
Gráfico7. Matriz de pérdidas Marzo 2016	89



INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Los tiempos cambian. El mundo que nos rodea avanza a pasos agigantados y no nos damos cuenta. La sociedad, las costumbres, los métodos de trabajo, las relaciones sociales, la tecnología...todo cambia a nuestro alrededor y lo que antes valía para llegar a tus objetivos, ahora ya no es suficiente. Ya no vale la filosofía de "no cambiar lo que hasta ahora ha ido bien", ya no vale ni siquiera la capacidad de saber adaptarse y afrontar nuevos cambios..., los nuevos países emergentes vienen pegando fuerte, y lo que antes no era competencia, ahora se vuelve verdugo, los métodos clásicos de trabajo se vuelven obsoletos, y las empresas se ven obligadas a cambiar su mentalidad y llevar a cabo un cambio de cultura adaptada a los nuevos tiempos. Para esto sólo hay una fórmula, La Mejora Continua.

El presente proyecto trata sobre esta filosofía, La Mejora Continua aplicada al Sector Industrial. Se expondrá el diseño y desarrollo de una Línea de Producción, así como su posterior estudio de mejora y optimización, con el fin de conseguir una reducción de costes operativos, tanto de producto como de proceso, y por consiguiente una maximización de los beneficios de la empresa.

Este proyecto se ha llevado a cabo en la empresa ThyssenKrupp Manufacturing Spain, siguiendo la Filosofía de Lean Manufacturing.

El objetivo de este TFG es dar una formación del método de trabajo que se desarrolla como profesional del mundo de la Industria, concretamente como responsable de la Ingeniería de Procesos de una Línea de Producción. Se desarrollarán conceptos base del Método, su contexto histórico, evolución, avances y repercusión sobre el sector de la Fabricación, se expondrán cuáles son las herramientas que ayudan y permiten la implantación y seguimiento del método, y por supuesto, se aplicarán sobre un caso real: Optimización de la línea de Limitadores de velocidad, (Área de componentes).



HISTORIA DE LA FABRICACIÓN

2. HISTORIA DE LA FABRICACIÓN

La evolución de la tecnología se fue caracterizando por transferir las operaciones humanas a los artefactos. Operaciones que en sus comienzos eran individuales comenzaron a distribuirse entre varios individuos, dando lugar a la formación de organizaciones.

La organización de un grupo de personas se relaciona con el modo en que se procesa y se transmite de forma interna la información. Ésta constituye el bien necesario para que las acciones de cada miembro alcancen sus fines, los que, a su vez, corresponden a los objetivos de la propia organización.

Se define proceso de producción o de fabricación como conjunto de fases o etapas organizadas, mediante las cuales se transforman los materiales, con el objetivo de lograr un producto tecnológico, de producción industrial, y según especificaciones de diseño.

2.1 EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN

En los primeros tiempos, los materiales de los que disponía el hombre eran esencialmente de origen natural. Sobre ellos debía realizar las operaciones de transformación necesarias para lograr los utensilios o las armas que su vida cotidiana requería.

En plena era agrícola, los sistemas de producción estaban basados esencialmente en actividades de cultivo y cría de animales que satisfacían las necesidades de la familia del agricultor. No existía la economía de mercado y el precio de cambio de los productos tecnológicos de la época se establecía a través del trueque.

En la edad media se hizo muy fuerte la figura del artesano, que generalmente trabajaba para su familia y para un determinado grupo de vecinos.

En el proceso de producción artesanal no existía la denominada división del trabajo, lo que significa que era el mismo artesano quien realizaba cada una de las etapas y operaciones de producción. Esto daba un aspecto muy particular a cada uno de sus productos, ya que las herramientas que utilizaban o las técnicas de fabricación generalmente les eran propias y se mantenían en secreto, que daba un carácter muy personal a su producción.

En los siglos XVI y XVII comenzaron los primeros esbozos de los procesos de producción basados en la división del trabajo: En esta época los artesanos trabajaban para un contratista que les encargaba la fabricación de los productos deseados. Como el contratista quería vender más productos, necesitaba aumentar la eficiencia de la producción artesanal. En lugar de hacer todo una sola persona, realizaba una distribución de las tareas entre varias de acuerdo con las habilidades de cada uno.

Estos primeros empresarios comenzaron a descubrir que la división de las tareas abarataba los costos e incrementaba la producción.

La aparición de la máquina de vapor en el siglo XVIII aceleró los procesos de producción masiva.

Se generó así una economía en la que aparecen claramente diferenciados los productores de los consumidores: los que venden y los que compran. Apareció el mercado: los que demandan y los que ofrecen.

Hacia el final del siglo XIX y a principios del siglo XX, la búsqueda de la eficiencia en los procesos de producción llevó al trabajo en las fábricas a esquemas muy rígidos. La división de las tareas y el modo de realizarlas estaba minuciosamente definida.

Aparecen por primera vez los procesos de producción en serie. Éstos generan miles de piezas idénticas, en una línea de montaje, bajo una secuencia de operaciones técnicas preestablecidas.

El hecho de que fuesen las máquinas las que se hacían cargo de los gestos técnicos permitió calcular con precisión los tiempos que consumía cada tarea y, en consecuencia, un mayor control de los trabajadores.

Los denominados ingenieros del trabajo son los que se dedican a tomar los tiempos de cada operación. Ahora el operario no puede comportarse como el artesano que maneja el tiempo de trabajo a voluntad. Cada una de las operaciones, por ejemplo mover una herramienta, tiene un tiempo establecido. El operario tiene limitados todos los tiempos y por tanto debe cumplir una cantidad mínima de piezas preestablecida. Esto marca una diferencia muy grande en la forma de producir, ya que el valor del trabajo de un operario muy especializado se podía desmenuzar en una secuencia de operaciones más simples, realizadas por varios operarios no especializados. Esto obligaba a los operarios especializados a bajar sus pretensiones laborales.

Este proceso iniciado por Taylor se llamó taylorismo y marca el inicio de la llamada organización científica del trabajo.

Taylor fue el padre de la organización científica del trabajo; comienza sus experiencias en 1880 buscando determinar las velocidades más favorables para trabajar el acero y la forma de mejorar las herramientas, y al mismo tiempo trata de determinar la máxima cantidad de trabajo sostenido que se le puede exigir a un buen obrero, de tal forma que mantenga su ritmo durante varios años sin que sufra molestias. Para esto, se lanza a la conquista del control del gesto en la actividad industrial; el método que utiliza es el mismo tanto para determinar la herramienta que más conviene usar, como los gestos más convenientes del hombre que maneja la máquina. El trabajo se descompone en operaciones elementales que son medidas y seleccionadas, buscando eliminar las que a primera vista resultan inútiles para el mejor rendimiento de la máquina, pero omitiendo tener en cuenta los aspectos humanos (psicológicos y fisiológicos) del complejo obrero-máquina. La primera etapa de su experiencia era apropiarse del aspecto intelectual del trabajo del obrero, la segunda -la organización científica del trabajo- era obtener del obrero (sin posibilidades de aplicar sus conocimientos técnicos para fijar sus propias condiciones de trabajo) el máximo de eficacia dictándole las normas de trabajo. Se le pide al obrero que opere al ritmo y de la manera como decide la oficina de métodos y planificación.

Algunos de los criterios propuestos por el taylorismo son:

1. Circulación continua de material a lo largo del proceso.
2. Cada puesto de trabajo debe estar en permanente funcionamiento.

3. Un operario por cada puesto de trabajo.

Sin embargo faltaba un paso, incorporar esta organización científica del trabajo en un sistema de máquinas que progresara automáticamente y dictase su ritmo al obrero.

Fue Henry Ford quien lo hizo al introducir la línea de montaje. Ahora bien, un cambio en las técnicas de producción implicaba un cambio paralelo en los modos de vida. Para producir mucho hacía falta un mercado que consumiera mucho, y como decía Henry Ford, no se podía contar solamente con los ricos, ellos no eran lo suficientemente numerosos, la producción en masa que planteaba Ford sólo podía imaginarse en una gran sociedad de consumo, para eso había que hacer de los obreros consumidores, integrarlos psicológica y financieramente al funcionamiento del capitalismo, como trabajadores y como clientes, he allí la solución. Para esto Henry Ford decide pagar más a sus asalariados y anuncia en todo E.E.U.U. ofertas de empleo prometiendo más del doble que en el resto del país. Pero lógicamente a condición de plegarse a la disciplina de la fábrica moderna, al rutinario trabajo en cadena, al ritmo impuesto por el taylorismo.

Ford basa su sistema en la idea de la prosperidad general como garantía de una producción masiva y altos salarios.

En el fordismo, la productividad deja de ser el resultado de la sumatoria de esfuerzos individuales y pasa a depender de la planificación y correcta utilización de la capacidad de producción. Los obreros realizan solamente tareas fragmentarias y monótonas, aquellas que según Henry Ford cualquiera puede aprender en menos de dos horas, los hombres repiten los mismos gestos, muchas veces sin comprender su sentido, la concepción fordista del trabajo en cadena significa la marginación de la destreza, de la iniciativa individual, de la cultura tecnológica; pero podemos decir que la libertad de movimiento y la iniciativa perdida son en parte compensadas por la disminución de la fuerza de trabajo para cumplir la función.

2.2. NUEVAS FORMAS DE ORGANIZAR LA PRODUCCIÓN

Hacia mediados del siglo XX, en algunas empresas japonesas comenzaron a pensarse otros criterios para la organización de las industrias. La eficiencia de las modalidades organizativas del trabajo japonés determinó que fueran aceptadas por la mayoría de los países industrializados. Como en el caso del fordismo, los nuevos modos de trabajo y producción tienen relación directa con el comportamiento del mercado -que es la gente que está dispuesta a adquirir determinados productos-. En los últimos años, por ejemplo, los consumidores ya no quieren un determinado modelo de algo, sino que buscan productos con mucha variedad.

Uno de los cambios más importantes en la forma de organizar un proceso productivo se implementó en la fábrica Toyota. Consiste en fabricar solo aquello que ya está vendido. Cuánto se produzca, cómo se organice la producción y cuánta materia prima se compre dependerá de los datos que provea el sector de ventas. A esta forma de trabajar se le conoce como Lean Manufacturing.



LEAN MANUFACTURING

3. LEAN MANUFACTURING

Lean manufacturing o “producción ajustada” es una filosofía de gestión enfocada a la creación de flujo para poder entregar el máximo valor para los clientes, utilizando para ello los mínimos recursos necesarios: es decir ajustados.

3.1. ORIGEN

Esta metodología de mejora de la eficiencia en manufacturas fue concebida en Japón por Taiichi Ohno, director y consultor de la empresa Toyota. En 1937, Ohno observó que antes de la guerra, la productividad japonesa era muy inferior a la estadounidense. Después de la guerra, Ohno visitó Estados Unidos, donde estudió los principales pioneros de productividad y reducción de desperdicio del país como Frederick Taylor y Henry Ford. Ohno se mostró impresionado por el énfasis excesivo que los estadounidenses ponían en la producción en masa de grandes volúmenes en perjuicio de la variedad, y el nivel de desperdicio que generaban las industrias en el país más rico de la posguerra. Cuando visitó los supermercados tuvo un efecto inspirador inmediato; Ohno encontró en ellos un ejemplo perfecto de su idea de manejar inventarios reducidos, eliminar pasos innecesarios y controlar las actividades primarias y dar control al que hace el trabajo (en este caso el cliente) como apoyo a la cadena de valor. La palabra japonesa muda significa ‘desperdicio’ y se refiere en específico, a cualquier actividad humana que consume recursos y no crea valor.

El origen de la propia palabra lean se atribuye al equipo de JP Womack, y Daniel Jones, actualmente en la Lean Global Network. Estos investigadores no fueron los únicos pioneros en la materia, pero sí los que consiguieron hacer llegar la filosofía lean a través de dos libros: "La máquina que cambió el mundo" y "Lean Thinking".

El objetivo es encontrar herramientas que ayuden a eliminar todos los desperdicios y todas las operaciones que no le agregan valor al producto o a los procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere. Este proceso de manufactura busca relacionar los costes con todos los valores que el cliente percibe en el producto. Por otro lado, sirve para implantar una filosofía de mejora continua que le permita a las compañías reducir sus costes, mejorar los procesos y eliminar los desperdicios para aumentar la satisfacción de los clientes y mantener el margen de utilidad.

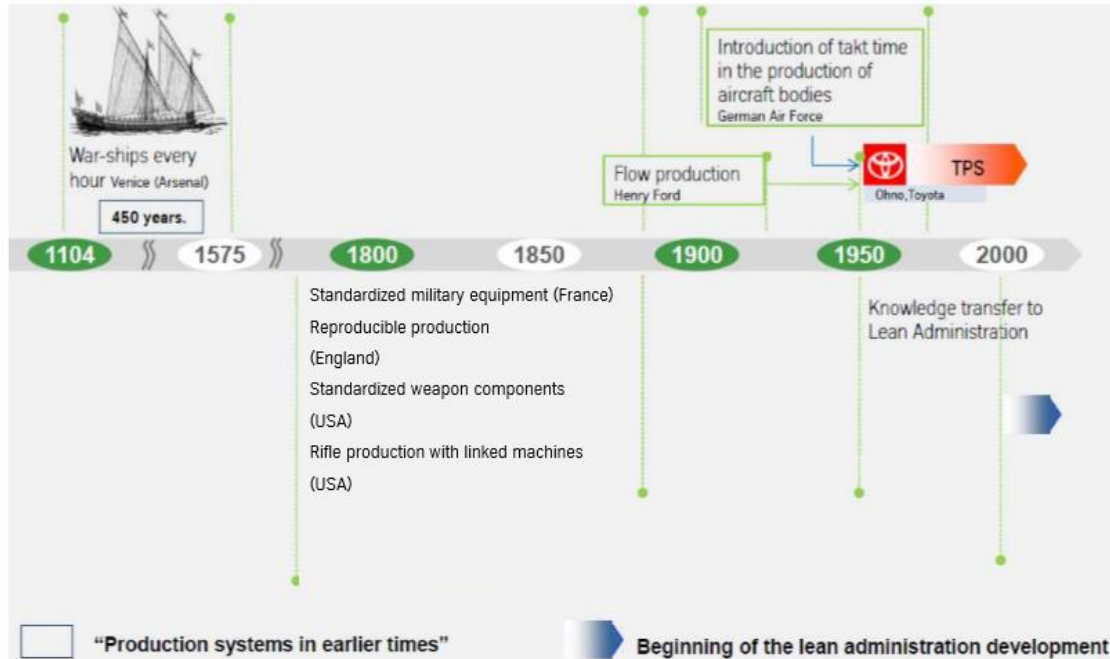


Figura 1: Cronología de la historia de la fabricación (1)

Toyota incluyó el concepto del JIT (Just in time), sistema de organización de la producción para las fábricas, el cual permite reducir el costo de la gestión de almacenes. De esta forma, no se produce bajo demandas teóricas, sino sobre pedidos reales. Una definición del objetivo del Justo a Tiempo sería «producir los elementos que se necesitan, en las cantidades que se necesitan, en el momento en que se necesitan».

A partir de Toyota, muchas fueron las empresas que se lanzaron a fabricar con el cambio de metodología, introduciendo poco a poco mejoras en la producción que fueron estandarizadas por las demás empresas, como por ejemplo los sistemas kanban, el TPM o mantenimiento preventivo o el sistema SMED (Single Minute Exchange Die) conocido como cambio rápido de herramienta entre otros.

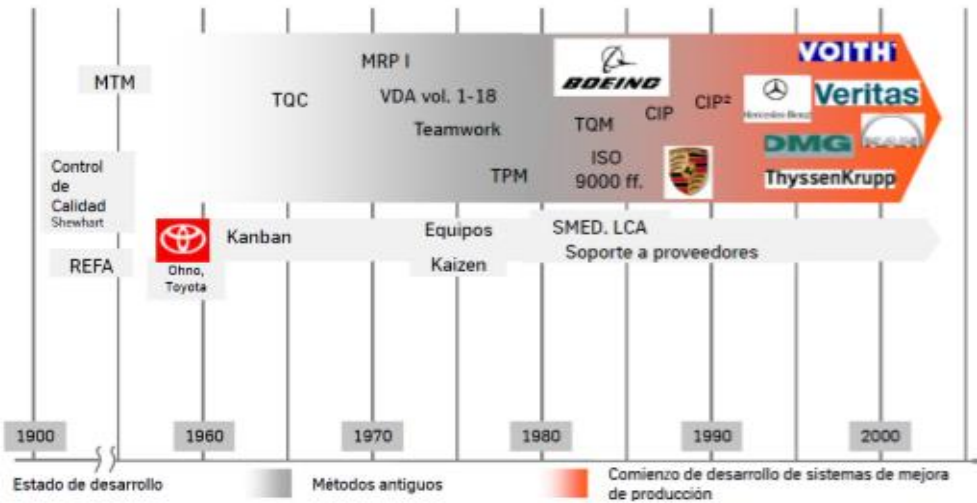


Figura 2: Cronología de la historia de la fabricación (2)

En un proceso productivo podemos identificar tres conceptos importantes que debemos conocer:

- Valor añadido: Son todas aquellas operaciones que incrementan el valor del producto desde el punto de vista del cliente. *Ej.: Fases de ensamblaje.*
- Value enabling operation: Todas aquellas operaciones que incrementan el valor del producto desde el punto de vista del cliente, pero que son independientes al proceso productivo. *Ej.: Costes de suministro y entrega a cliente.*
- Desperdicio: Todo aquello que el cliente no está dispuesto a pagar por ineficiencias de fábrica. *Ej.: Costes causados por una baja calidad de producto que se incluyen en el precio final del producto terminado.*

La creación de flujo se focaliza en la reducción de los desperdicios. Eliminando el despilfarro, mejora la calidad, se reducen el tiempo de producción y en consecuencia el coste. Las herramientas lean (en inglés, 'ágil' o 'esbelto') incluyen procesos continuos de análisis (llamadas kaizen en japonés), producción pull ('del término japonés kanban), y elementos y procesos «a prueba de fallos» (poka yoke, en japonés), todo enfocado a la cadena de valor del producto.

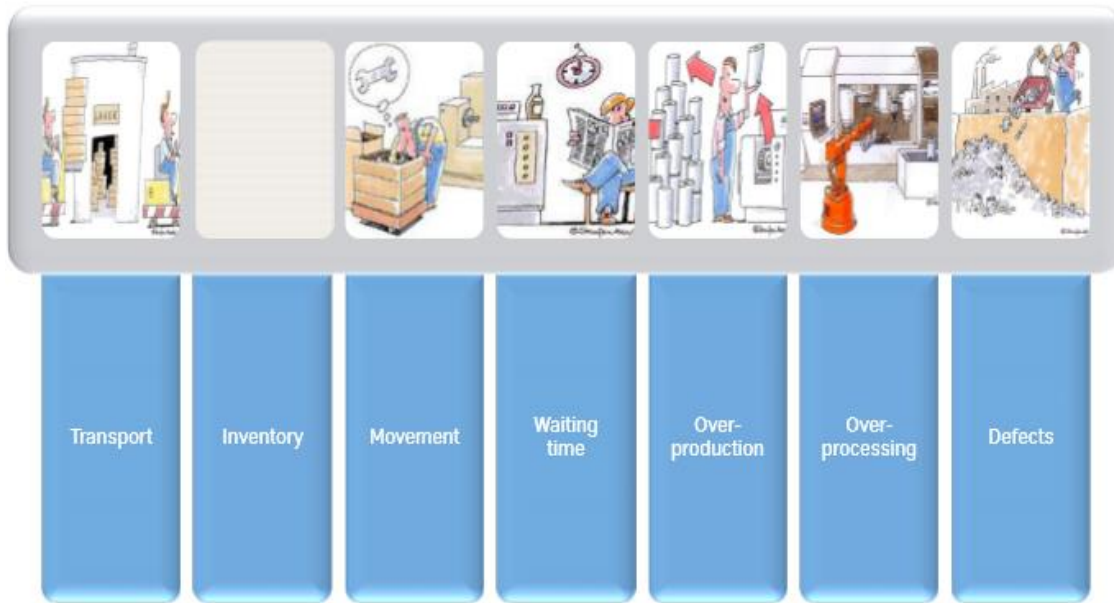


Figura 3: Tipos de desperdicio concebidos en Lean Manufacturing

Movimiento: Movimiento humano y movimiento de las máquinas. Dichos movimientos están relacionados con la ergonomía del lugar donde se trabaja, afectando así a la calidad y la seguridad.

Sobreproducción: Es el que más afecta a una industria, se suscita cuando las operaciones continuas debieron ser detenidas o cuando se hacen productos de previsión, para stock, antes de que el cliente los pida.

Espera: Término aplicado en aquellos períodos de inactividad de un proceso ya que esta acción no agrega valor y a veces resulta en un sobrecoste del producto.

Transporte: Se refiere al movimiento innecesario de materiales de una operación a otra sin ser requeridos.

Procesado extra: Operaciones extras tales como retrabajos, reprocesos, manejos de materiales innecesarios y almacenamiento debido a algún defecto, sobreproducción o inventario insuficiente.

Corrección: se relaciona con la necesidad de corregir productos defectuosos. Se compone de todos los materiales, tiempo y energía involucrados en reparar los defectos.

Inventario: Se da cuando el flujo de material no está bien definido y el ritmo de la producción no marcha a ritmo. Esto genera desaprovechamiento de espacio y obsolescencia de producto.

A parte de los 7 desperdicios definidos, se puede definir uno más:

El conocimiento desconectado: existe cuando se tiene una desconexión entre la compañía con sus clientes y/o proveedores.



THYSSENKRUPP AG

4. THYSSENKRUPP AG

El grupo ThyssenKrupp AG es una multinacional Alemana conformada por la unión de varias empresas que abarcan diferentes sectores industriales. Los inicios de la empresa tal y como hoy en día se conoce se remontan al año 1999, cuando surge la unión de las empresas Thyssen AG y Krupp, aunque la fundación de ambas surge a principios del siglo XX, durante la época de la revolución industrial.

Las áreas de negocio de ThyssenKrupp se dividen en cinco áreas:

- Components Technology, encargada de la fabricación de componentes para otras industrias como la automoción.
- Elevator Technology, parte dedicada a la fabricación y mantenimiento de equipos de elevación como ascensores.
- Industrial Solutions, dedicada a dar soporte en proyectos de construcción de recintos industriales
- Materials Services, encargada de la fabricación de diferentes tipos de materiales como el plástico.
- Steel Europe, la cual engloba todas las operaciones relacionadas con la fundición y transformación de productos derivados del acero.

Hoy en día la empresa cuenta con delegaciones en más de 200 países, contando con más de 150.000 trabajadores

En España se encuentran diferentes fábricas, en diferentes sectores, entre la que se encuentra la fábrica de ascensores de Móstoles (Madrid). Este centro es el encargado de la producción de todos los componentes mecánicos del ascensor.

4.1 INTRODUCCIÓN AL MUNDO DE LA ELEVACIÓN

El sector de la elevación para la compañía engloba todas las soluciones técnicas relacionadas con el transporte de personas. Dentro de este sector se encuentran las siguientes soluciones:

- Ascensores y montacargas.
- Escaleras mecánicas y pasillos.
- Salva escaleras.
- Pasarelas de embarque a aviones.

En lo que se refiere a los ascensores, son elementos que permiten el transporte de personas entre las diferentes plantas de un edificio. Un ascensor de tracción por cables se compone de diferentes elementos mecánicos entre los que se encuentran:

- La cabina, encargada del transporte de la carga.
- La máquina tractora, la cual funciona con energía eléctrica y permite el movimiento de la cabina

por el hueco del ascensor.

- El contrapeso, el cual mejora la eficiencia del conjunto permitiendo un menor consumo de energía.
- El limitador de velocidad, elemento que pertenece a la seguridad del ascensor, controlando la velocidad del mismo en subida y bajada. Este elemento suele aparecer junto con el dispositivo tensor que mejora la eficiencia del limitador.
- El paracaídas, elemento de seguridad que es accionado automáticamente por el limitador frenando la cabina en casos extremos.
- Las guías de cabina, las cuales permiten el guiado de la cabina por el hueco del ascensor.
- La maniobra eléctrica, que se compone de elementos como la botonera de cabina, señalización de piso y armario de maniobras.
- Las puertas de pasillo y cabina, las cuales permiten la entrada o salida de los pasajeros entre plantas.

Además de estos elementos existen otros tipos de elementos, lo cuales se muestran en la siguiente imagen, conformando todos ellos el ascensor por completo.

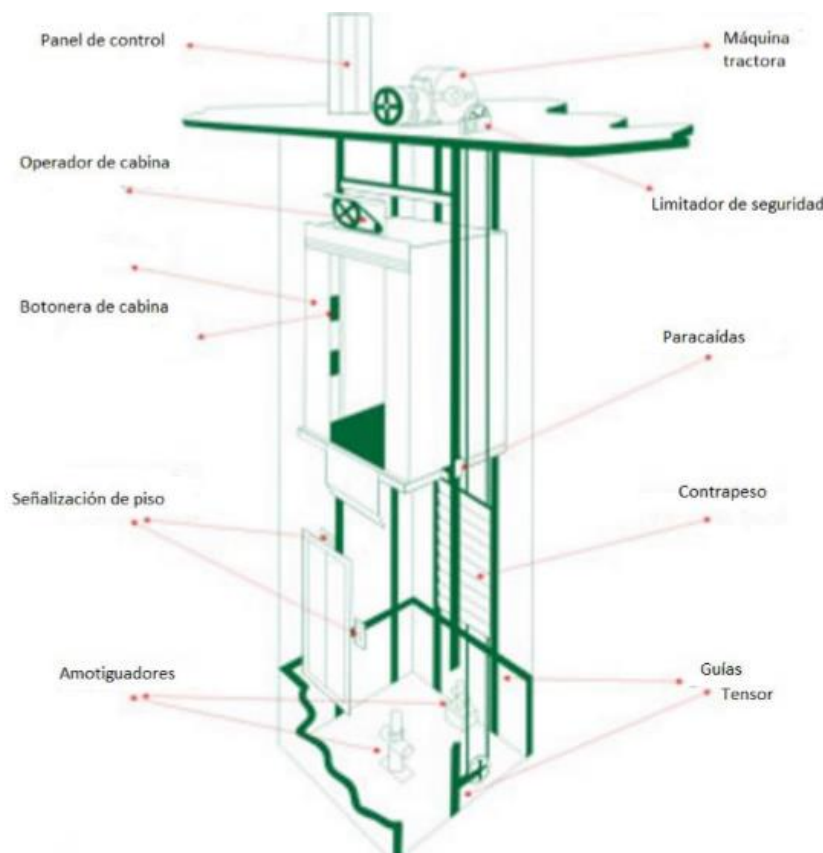


Figura 4: Elementos mecánicos de un ascensor

4.2. COMPONENTES DE SEGURIDAD

4.2.1. LIMITADOR DE VELOCIDAD

El limitador de velocidad SGN es un dispositivo de seguridad con certificado de homologación: ATI/LV/012 (SGN 200), ATI/LV/013 (SGN 300)

El limitador trabaja principalmente basado en el movimiento de una polea guía sobre una curva-leva. Tan pronto como la velocidad de disparo, ajustada en fábrica, sea alcanzada, el interruptor encargado de desconectar la conducción, se activará y la polea del limitador se parará.

La fuerza requerida para activar el paracaídas y/o el dispositivo de freno es proporcionada por un cable continuo, un peso de tensionado situado en el foso y el cable de tracción, generada en la garganta de tracción.

El paracaídas y/o el dispositivo de frenado pueden actuar en ambas direcciones.

❖ 2.1 - Descripción del limitador de velocidad

El limitador se compone de los siguientes elementos principales:

- Encoder-----	1	- Polea guía -----	10
- Polea -----	2	- Cabeza de contacto ----	11
- Perno de ajuste -----	3	- Bobina de rearme -----	12
- Curva de leva -----	4	- Interruptor de precorte --	13
- Lateral base -----	5	- Palanca -----	14
- Resorte de tensión -----	6	- Interruptor de disparo --	15
- Bobina de disparo -----	7	- Trinquete -----	16
- Placa identificativa -----	8	- Eje -----	17
- Resorte protector -----	9		

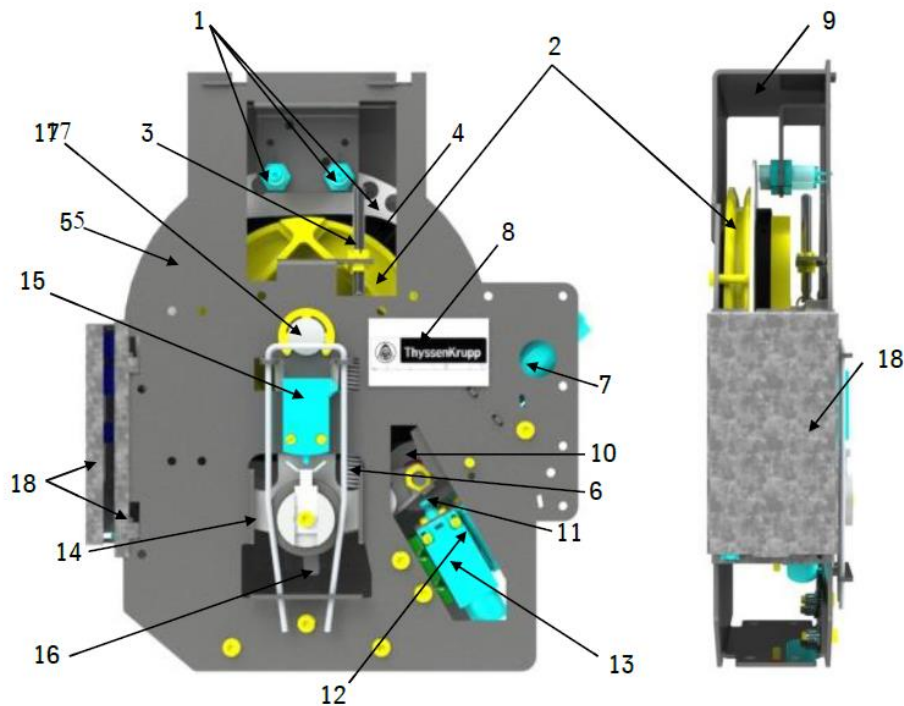


Figura 5: Limitador de Velocidad SG-N TKEMF

4.2.2. PARACAÍDAS

El paracaídas unidireccional progresivo está formado básicamente por un juego de mordazas (mano derecha y mano izquierda) constituidas estas por los siguientes elementos:

Un soporte fabricado en acero no aleado y mecanizado. Es el elemento portante de los demás componentes móviles y articulados que constituyen una mordaza del paracaídas. Sobre él se descarga todo el esfuerzo de frenado que proporcionan los demás elementos.

Una cuña fabricada en acero herramienta. Realiza la función de acuñamiento deslizándose sobre un rodamiento plano de agujas y la cara inclinada del soporte. Es guiada por una pletina ranurada guía de cuña. La cuña es portante del tornillo de regulación.

Una zapata, realiza la función de tope de los bloques de muelle que proporcionan la presión sobre las guías en el flanco opuesto al de la cuña, friccionando a ésta para colaborar con la cuña en el esfuerzo de frenado.

Dos columnas de resortes de disco. Apilados en bloques, constituyen el componente de fuerza regulable, que presiona la zapata y la cuña sobre los flancos de la guía para producir el esfuerzo de frenado

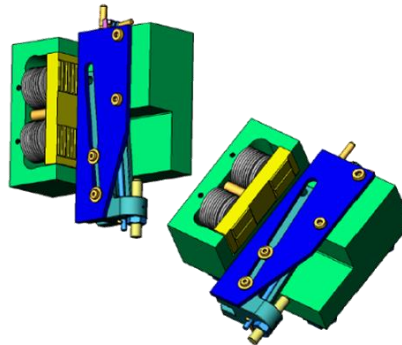


Figura 6: Paracaídas progresivo TKEMF

4.3 THYSENKRUPP LEAN APROACH. PRODUCTION SYSTEM

ThyssenKrupp como organización que se dedica a la industria manufacturera, tiene unos objetivos generales como compañía, reducción de costes, incremento del margen de beneficio y satisfacción de los clientes. Para ello, en todas sus sedes dedicadas a la elevación está implantando la metodología Lean Manufacturing, con el fin de garantizar sus objetivos.

El enfoque particular que ThyssenKrupp ha dado y adaptado a dicha metodología se llama Production System, dirigido principalmente a:

- Reducir lead time

- Reducir desperdicios
- Procesos estables
- Flexibilidad a las necesidades del cliente
- Cero defectos.

A partir de este enfoque se desarrolló lo que se conoce como Production System Circle.

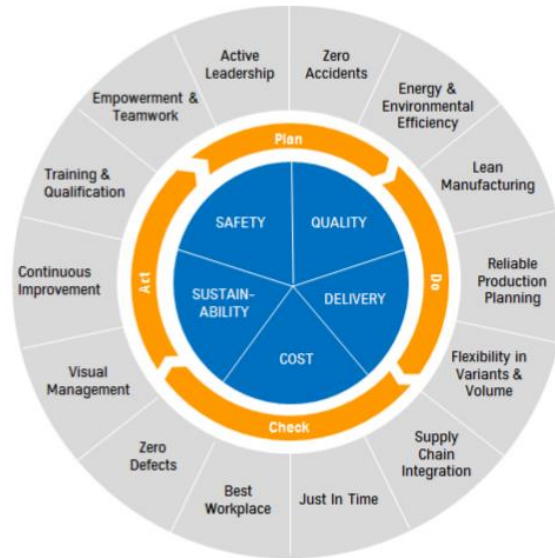


Figura 7: Círculo de Deming TKEMF

CERO ACCIDENTES

Comprende todas las medidas y métodos relacionados con programas de prevención. El objetivo es conseguir cero accidentes y generar una cultura de seguridad y salud en todos los niveles de la organización.

EFICIENCIA MEDIOAMBIENTAL Y ENERGÉTICA

Prácticas de negocio enfocadas a temas medioambientales y consumo de energía de una forma sostenible.

LEAN MANUFACTURING

Creación de valor y eliminación de desperdicio con el fin de satisfacer de una forma óptima las necesidades del cliente. El objetivo del Lean Manufacturing es la mejora continua.

PLANIFICACIÓN ESTABLE

Abarca todos aquellos parámetros relevantes al proceso (Lead Time, demanda, Forecast) para crear una planificación de producción realista. Su objetivo es reducir las desviaciones para establecer procesos de producción más estables.

FLEXIBILIDAD

Capacidad y organización de la producción estable. El objetivo es conseguir procesos productivos flexibles a los cambios en el producto y en el volumen.

INTEGRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Optimizar la cadena de suministro de materiales desde principio a fin. Optimizar distribución y manipulación de material. Reducción de almacenes.

JUST IN TIME. PRODUCCIÓN "JUSTO A TIEMPO".

Fabricar sólo lo que sea necesario cuando sea necesario. El objetivo es reducir costes de inventario.

MEJORA DE PUESTO DE TRABAJO

Creación y optimización de estándares y puestos de trabajo. Mejora de procesos productivos. Identificar desviaciones de proceso y reducir ineficiencias en línea.

CERO DEFECTOS

Comprende todas aquellas medidas orientadas a detectar defectos o desviaciones en producto y proceso e identificar causas raíces de problemas.

GESTIÓN VISUAL

Desarrollar e implementar herramientas de gestión visual con el objetivo de hacer visibles y transparentes a toda la organización las desviaciones y planes de actuación existentes. Análisis de KPI's

MEJORA CONTÍNUA

Filosofía de trabajo que comprende todas aquellas acciones que provoquen una evolución constante y una tendencia positiva de los KPI's.

FORMACIÓN

Relativo a los planes de formación del personal contratado

MEJORA DE AMBIENTE DE TRABAJO

Orientado a alinear en una misma dirección a cada uno de los departamentos y áreas de la organización.

LIDERAZGO ACTIVO

Principal responsabilidad de los supervisores a la hora de formar, orientar y apoyar a sus subordinados.

¹ KPI: Key Performance Indicator. Indicadores que sirven para evaluar y medir el estado de una serie de factores que afectan al proceso.

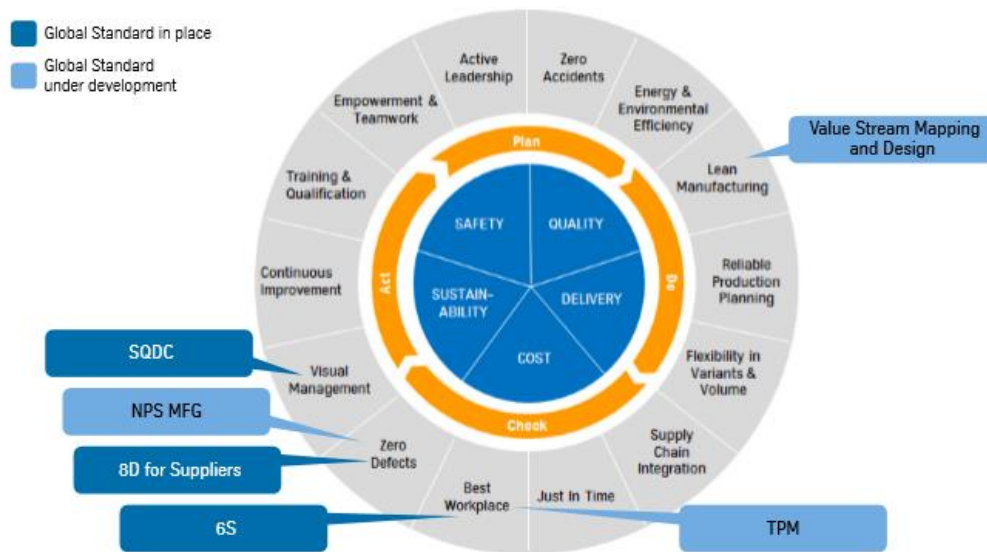


Figura 8: Ejemplo de herramientas estándar antes y después del desarrollo del trabajo.

Este enfoque marca la dirección a seguir en nuestro día a día. Lean es básicamente todo lo concerniente a obtener las cosas correctas en el lugar correcto, en el momento correcto, en la cantidad correcta, minimizando el despilfarro, siendo flexible y estando abierto al cambio.

Por lo tanto, y siguiendo el método dado por la organización, los puntos clave que hay que tener en cuenta a la hora de desarrollar el trabajo de ingeniero de procesos son:

- Calidad perfecta a la primera.
- Minimización del despilfarro.
- Mejora continua.
- Procesos Pull. Producir solo lo necesario sobre la base de que los productos son solicitados o "tirados" para llegar a la demanda del cliente final.
- Flexibilidad, construcción y mantenimiento de una relación a largo plazo con los proveedores tomando acuerdos para compartir el riesgo, los costes y la información.



DESARROLLO DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN BASADO EN LA METODOLOGÍA LEAN MANUFACTURING

5. DESARROLLO DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN BASADO EN LA METODOLOGÍA LEAN MANUFACTURING

El presente trabajo persigue plasmar cómo se ha desarrollado bajo la metodología de Lean Manufacturing el proyecto de mejora del área de Safeties, concretamente los Limitadores de Velocidad.

El proyecto arranca en Junio 2015, motivado por un cambio de diseño en el modelo de Limitador. El principal objetivo desde el punto de vista de procesos era poder adaptar el nuevo diseño a la línea de producción que hasta entonces había sido la casa del modelo SG (Antiguo Limitador de velocidad) sin que la capacidad productiva de la línea se viera afectada.

Tras la puesta en marcha se elabora una ficha de proyecto, a modo de presentación en la que se muestra una síntesis de, dónde estamos, dónde queremos llegar, y qué se va atacar para poder cumplir nuestros objetivos marcados.

Los objetivos marcados para este proyecto son los siguientes:

- Aumento de la OTD de un 70 % a un 98% (Tasa de entrega de componentes).
- Aumento capacidad productiva de un 10% por máquina
- Reducir materiales en borde de línea. Creación de flujo.

Esta forma de coordinar el trabajo se plantea con una herramienta conocida como PDCA, que forman un proceso de mejora continua a lo largo del ciclo de vida de un producto.



Figura 9: Gráfico PDCA.

Esta herramienta se define como un ciclo de mejora continua que tiene como fin detectar, determinar y eliminar problemas de eficiencia y sostenibilidad, y como resultado llegar a conseguir unos estándares más robustos, estables y ajustados. Se divide en 4 fases:

PLAN. Detectar problemas y analizar las causas raíces (estado actual). Para ello se requiere de una toma de datos. Definir acciones a tomar y responsables.

DO. Definir y monitorizar el plan de acción. Definición de KPI's.

CHECK. Monitorizar KPI's, analizar resultados e identificar desviaciones.

ACT. Documentar y estandarizar nuevo proceso definido tras nuestro plan de acción. Comunicar el best practice realizado en el proyecto.

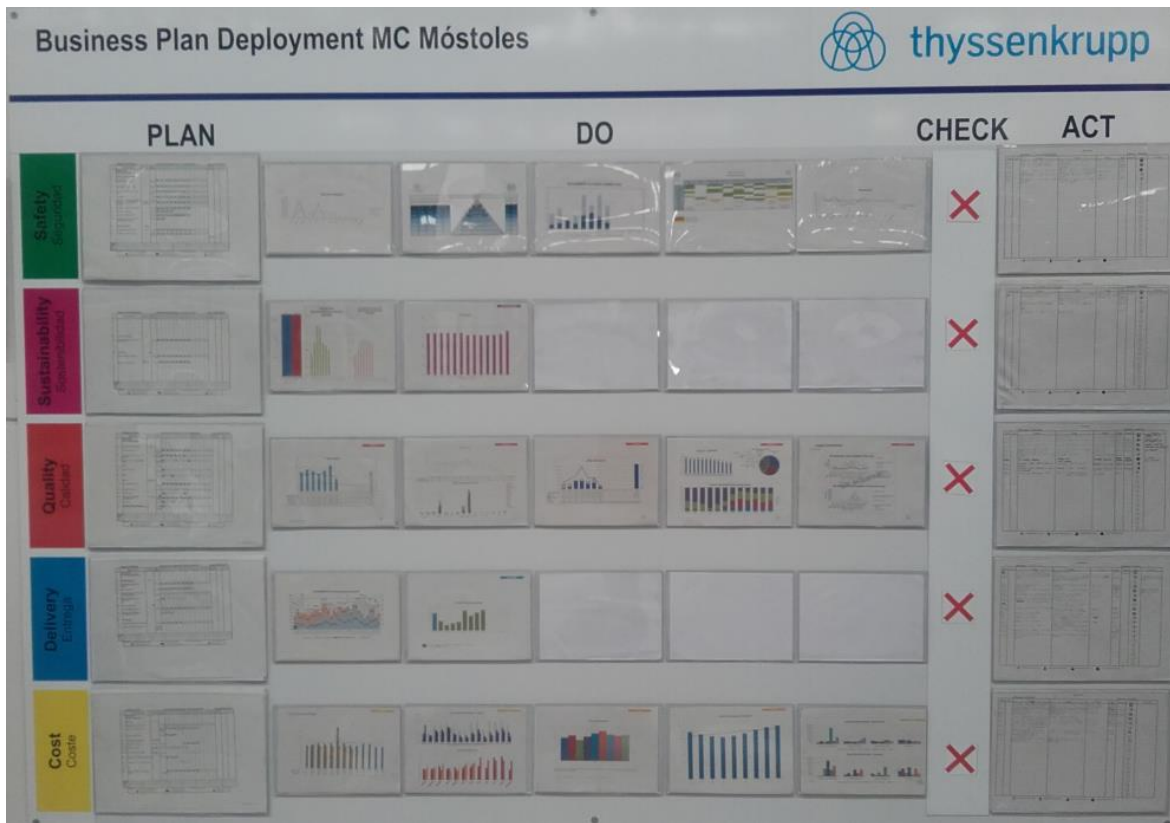


Figura 10: Panel PDCA ThyssenKrupp MC Móstoles

A partir de aquí, como decía, se elabora nuestra síntesis del proyecto, en la que quedan definidos claramente los objetivos marcados.

thysenkruup
MC Móviles

Seguridad ☒

FICHA DE PROYECTO

Título: NUEVA LINEA LIMITADORES DE SEGURIDAD

Area/Línea: Componentes de seguridad

Responsables: ALBERTO VICENTE / MARIO RODRIGUEZ

Fecha: JUNIO 2015

Beneficio (€)

Project

Speed Governor Line Improvement

Calidad ☒

Entrega ☒

Producción ☒

Otros ☐

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

• FALTO MATERIALES NO ESTÁN BIEN DEFINIDO

• AUTO STOCK DE MATERIALES

• AUTO NIUDA EN FASE DE PREMONTAJE

• NECESIDAD DE A CAPACIDAD EN MÁQUINA REGULARIDAD.

PLAN

CAUSAS PRINCIPALES (matriz de pérdidas inicial)

Figura 11: Ficha de proyecto Nueva Línea Limitadores de Velocidad

5.1. TOMA DE DATOS

Una vez llegados a este punto siempre surge la misma pregunta, ¿Dónde ataco? Para poder comprender dónde están las desviaciones y llevar a cabo una buena gestión de los recursos, utilizamos la matriz de pérdidas.

Una pérdida en un proceso productivo es un coste que puede ser reducido o eliminado.

Esta matriz se basa en el principio del Pareto o más conocido como la regla del 80-20. Éste muestra de manera rápida y eficaz, que el 80% del valor de las pérdidas son debidos al 20% de los problemas. Sirve para encontrar los pocos vitales que impactan en mayor medida que los demás.

Una de las responsabilidades de un Ingeniero de procesos es desarrollar su capacidad analítica y llevar a cabo un registro diario de las incidencias de la Línea de producción, ya que de esta manera se puede analizar el estado actual de la misma a través de una base de datos fiable.

Es muy importante para entender una Matriz de pérdidas definir los criterios por los que se van a clasificar las ineficiencias, y estandarizar estos criterios para todos los responsables de proceso, ya que de esta forma todas las líneas de producción se miden de la misma forma. En nuestro caso clasificamos las ineficiencias como:

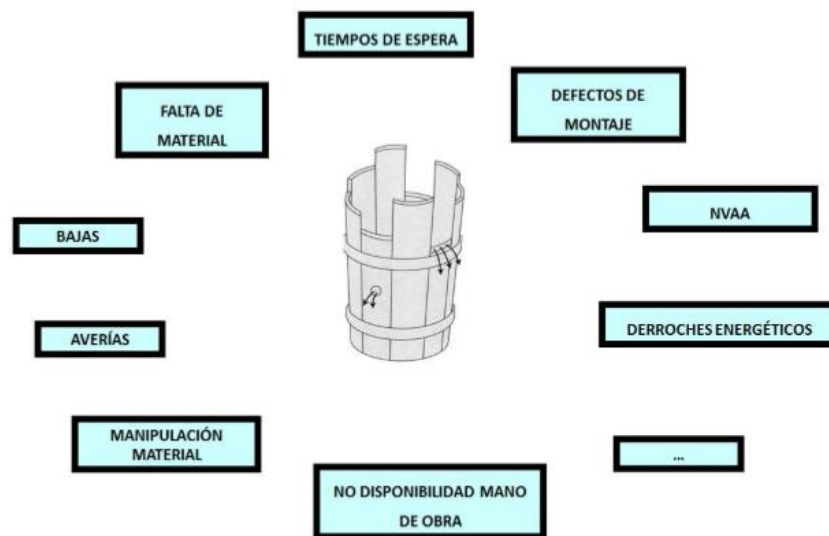


Figura 12. Principales ineficiencias dentro de un proceso productivo.

La evolución que tuvo la toma de datos en la Línea de Limitadores de Velocidad fue la siguiente:

Partíamos de un Parte de producción en el que sólo se registraba la cantidad de piezas fabricadas al turno en cada puesto.

REGISTRO DE PRODUCCIÓN MANUAL							
DÍA (indicar según turno)		OPERARIO (nombre y apellidos)				LÍNEA	PUESTO
Mañana						Limitadores	Regulación
Tarde							
HORA	Nº Operarios	Cantidad Objetivo/Real				Motivo Operario	
		Estándar	Estándar con caja	Con Precorte	Con Precorte y caja		
7 - 8 horas	1					retocar pista	
8 - 9 horas	1					retocar pista	
9 - 10 horas	1					retocar pista	
10 - 11 horas	1					retocar pista	
11 - 12 horas	1					retocar pista	
12 - 13 horas	1					retocar pista	
13 - 14 horas	1					retocar pista	
14 - 15 horas	1					retocar pista	
15 - 15:12 h.	1						
TOTAL	1						

Figura 13. Registro de producción R0

Incluimos una cantidad objetivo y el registro del por qué no se había podido llegar a esa cantidad deseada.

REGISTRO DE PRODUCCIÓN MANUAL							
DÍA (indicar según turno)		OPERARIO (nombre y apellidos)				LÍNEA	PUESTO
Mañana						Limitadores	Regulación
Tarde							
HORA	Nº Operarios	Cantidad Objetivo/Real				Motivo Operario	
		Estándar	Estándar con caja	Con Precorte	Con Precorte y caja		
7 - 8 horas	1	3	2	1	1	retocar pista	
8 - 9 horas	1	3	3	2	2	retocar pista	
9 - 10 horas	1	3	2	2	1	retocar pista	
10 - 11 horas	1	3	3	2	2	retocar pista	
11 - 12 horas	1	4	2	2	1	retocar pista	
12 - 13 horas	1	3	3	2	2	retocar pista	
13 - 14 horas	1	3	2	2	2	retocar pista	
14 - 15 horas	1	4	4	2	2	retocar pista	
15 - 15:12 h.	1	0	0	0	0		
TOTAL	1	26	21	15	13	4 cen	

Figura 14. Registro de producción R1

Se implementó las incidencias más comunes en el propio parte una vez la BBDD se hizo robusta.


REGISTRO DE PRODUCCIÓN MANUAL																
DÍA (indicar según turno)		OPERARIO (nombre y apellidos)						LÍNEA				PUERTO				
Mañana Tarde								SG-N				REGULACIÓN				
HORA	Cantidad Objetivo/Real	CÓDIGO	Nº SERIE	INCIDENCIAS										Q	Observaciones	
				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime			Reparación Sublime
7 - 8 horas				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
8 - 9 horas				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
9 - 10 horas				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
10 - 11 horas				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime
				Nº Iniciar	Velocidad d.p.p	Acción Requiere PC	Reducción Calibre	Falla Impresora	Reparación Impresora	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime	Reparación Sublime

Figura 15. Registro de producción R2

A día de hoy estamos trabajando para dar un paso más, y es implementar un formato visual que ya se ha implantado en otras líneas de la fábrica. Esto supone formar a los operarios para que conozcan y entiendan los diferentes conceptos de ineficiencias que estudiamos en un proceso productivo, para hacerlos partícipes y poder detectar y mejorar en todos ellos de una forma más activa.

PARTE DE PRODUCCIÓN DIARIA ELEMENT												FECHA: 22/5/17
CONFIGUR. DE LÍNEA	PERSONAS	FACTOR	7-8h	8-9h	9-10h	10-11h	11-12h	12-13h	13-14h	14-15h		
1 x 5	1'6		1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
1 x 6	1'66		1'25	1'25	1'25	1'25	1'25	1'25	1'25	1'25	1'25	1'25
1 x 7	1'71		1'7	1'7	1'7	1'7	1'7	1'7	1'7	1'7	1'7	1'7
1 x 3	NÚM. ORDENES FABRICADAS				1	2		3		4		
PROD. REAL	NÚMERO DE ORDEN				30986	30987		30714		3069		
BREAKDOWN	TIEMPO DE MÁQUINA NO PRODUCTIVA											
TOOL-CHANGE	CAMBIO DE UTILIZAS EN EL EQUIPO POR DESGASTE											
CHANGE OVER	CAMBIO DE UTILIZAS EN FUNCIÓN DEL MODELO MIX DE PRODUCTO											
ABSENTEEISM	AUSENCIA POR ENFERMEDAD, ACCIDENTE O FUEGA											
TRAINING	MINUTOS DE PERSONAL EN FORMACIÓN											
LACK OF MATERIAL	PÉRDIDA POR FALTA DE MATERIALES EN LÍNEA							30				
MISSING UNLOAD	PÉRDIDA POR SATURACIÓN/COLAPSO DEL PUESTO POSTERIOR (BUFFER)											
MATERIAL MANAGEMENT	PÉRDIDA EN LA GESTIÓN DEL PETROLIO O REPORTE (CARRETERO)											
CONTROL CHECK	CHEQUEOS DURANTE EL PROCESO DE PRODUCCIÓN (NO AUTO-CHECKED)											
DEFECTS	TIEMPO DE RETRABAJO Y RECALCULACIÓN MATERIAL NOK							45				
OBSERVACIONES NO TÍPICAS:												
SE ARRANCA SIN BUTER.												
ESPERA DE TORNOS Y BANDERAS												
REPOSICIÓN TORNOS 1400X1100SV LED + CONV. RODAPIE 1400X1100SV 1E												

Figura 16. Pizarra producción diaria Línea ELEMENT

Consecuentemente, la matriz de pérdidas que se obtuvo al inicio del proyecto fue la siguiente:

MACROCATEGORIE	Gasto 15/16	ACUMULADO	%ACUMULADO
NVAA MOVEMENTS	248.806,95 €	248806,95	64,35094656
NOT ACHIEVEMENT RATE OF LABOUR	46.698,00 €	295504,95	76,42882658
ABSENTEEISM	21.333,21 €	316838,16	81,94640572
START-UP	19.866,00 €	336704,16	87,08450937
HANDLING	14.826,24 €	351530,40	90,91913929
DEFECTS	5.028,00 €	356558,40	92,21957145
CONTROL-CHECK	4.740,65 €	361299,05	93,44568369
LACK OF MATERIAL	4.515,00 €	365814,05	94,61343452
CHANGE OVER	3.870,00 €	369684,05	95,61436381
BREAKDOWN	3.524,98 €	373209,03	96,52605779
PREVENTIVE MAINTENANCE	3.466,46 €	376675,49	97,42261627
DISSATURATION	3.141,85 €	379817,34	98,23521942
ABSENTEEISM - OTRO	2.756,00 €	382573,34	98,94802591
LIGHTING	2.420,00 €	384993,34	99,57393001
SEQUENCING	823,68€	385817,02	99,786965
MATERIAL MANAGEMENT	823,68€	386640,70	100

Tabla 1. Matriz de pérdidas Línea SG-N. Gasto 15/16

Este análisis muestra el gasto de la línea llevado al ejercicio 2015/2016, según la situación inicial previa a la modificación. Es una extrapolación al ejercicio completo ya que a partir de Septiembre de 2015 arranca la línea nueva, sin embargo nos será representativa para hacer una comparativa del antes vs el después.

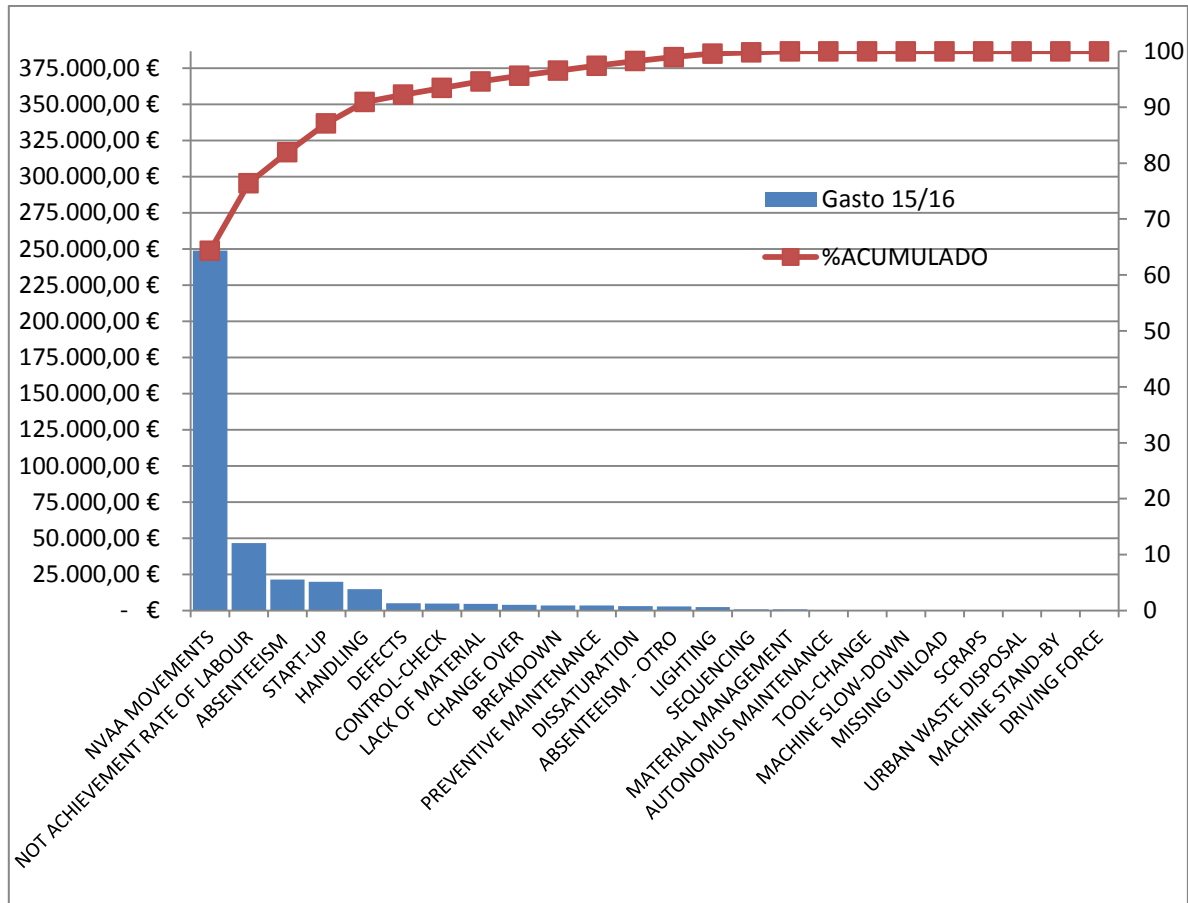


Gráfico 1. Pareto pérdidas Línea SG-N. Gasto 15/16

Como vemos en la gráfica anterior, encontramos como Top de nuestras ineficiencias en línea los NVAA, es decir, los movimientos de no valor añadido. Partimos de un gasto de 250.000 €. Este análisis es la confirmación de la necesidad de reducir los movimientos en línea.

Entendemos como movimientos de no valor añadido todas aquellas operaciones que desde el punto de vista del cliente no añadan valor. Este concepto llevado a una línea de montaje se entiende como todo el tiempo que no estés "tocando" producto, mejor explicado, transformando la materia prima para obtener el producto terminado.

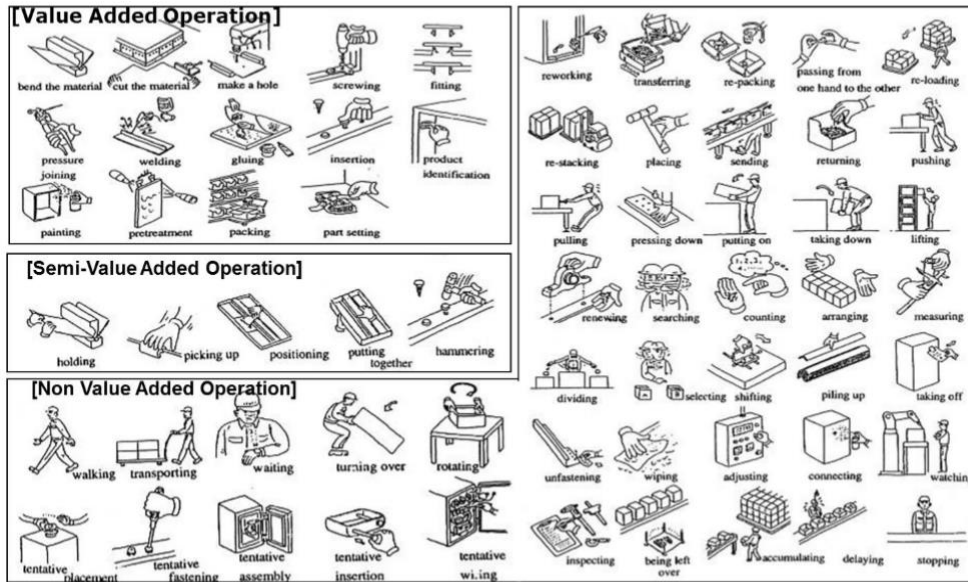


Figura 17. Gráfico de movimiento de valor y no valor añadido

Una vez se tiene claro cuáles son las ineficiencias de la línea, y por tanto los principales puntos a atacar, a la hora de diseñar una línea de producción, hay que tener en cuenta qué vamos a fabricar en ella, es decir, es fundamental contar con un forecast que aclare qué volumen de unidades se estima que vamos a fabricar al año y qué modelo o modelos, dentro de toda la gama de producto va a ser el qué más se consuma, de esta manera la nueva línea se diseñará acorde al modelo High Runner o producto estándar.

En nuestro caso, al no tener un forecast consistente, se hizo un análisis de los consumos que habíamos tenido en los últimos meses, clasificando de mayor a menor consumo qué códigos serían producto estrella.

Codigo Limitadores	%	% Acumulad	Cuello botella regulacion	Uds fabricada	Días de fabricació	Promedio	KANBAN O SECUENCIAL	POLEA
1013084101	34%	34%	26	1255	73	17,19	KANBAN	200
1013075002	11%	46%	26	415	73	5,68	KANBAN	200
1013050002	11%	56%	26	385	73	5,27	KANBAN	200
1013090801	8%	64%	26	285	73	3,90	SECUENCIADO	200
1013076001	6%	71%	15	236	73	3,23	SECUENCIADO	200
1013084201	6%	76%	26	207	73	2,84	SECUENCIADO	200
1013050040	4%	81%	26	156	73	2,14	SECUENCIADO	200
1013075001	4%	84%	26	136	73	1,86	SECUENCIADO	200
1013085001	3%	88%	15	114	73	1,56	SECUENCIADO	200
1013090901	2%	90%	22	86	73	1,18	SECUENCIADO	200
1013093101	1%	91%	22	49	73	0,67	SECUENCIADO	300

Tabla 2. Tendencia de consumos Mayo-Agosto 2015

Para poder llevar a cabo el proyecto de una forma ordenada y coordinada es necesario definir el Plannig, con todos los puntos a trabajar en nuestro proceso de diseño y mejora de la Línea.

5.2. PLANNING DEL PROYECTO

En todo proyecto de mejora debe existir un diagrama de Gantt, en dónde estén definidas las principales etapas del proyecto, con fechas de inicio y fin, y por supuesto con los responsables asignados a llevar a cabo las acciones definidas en el planning.

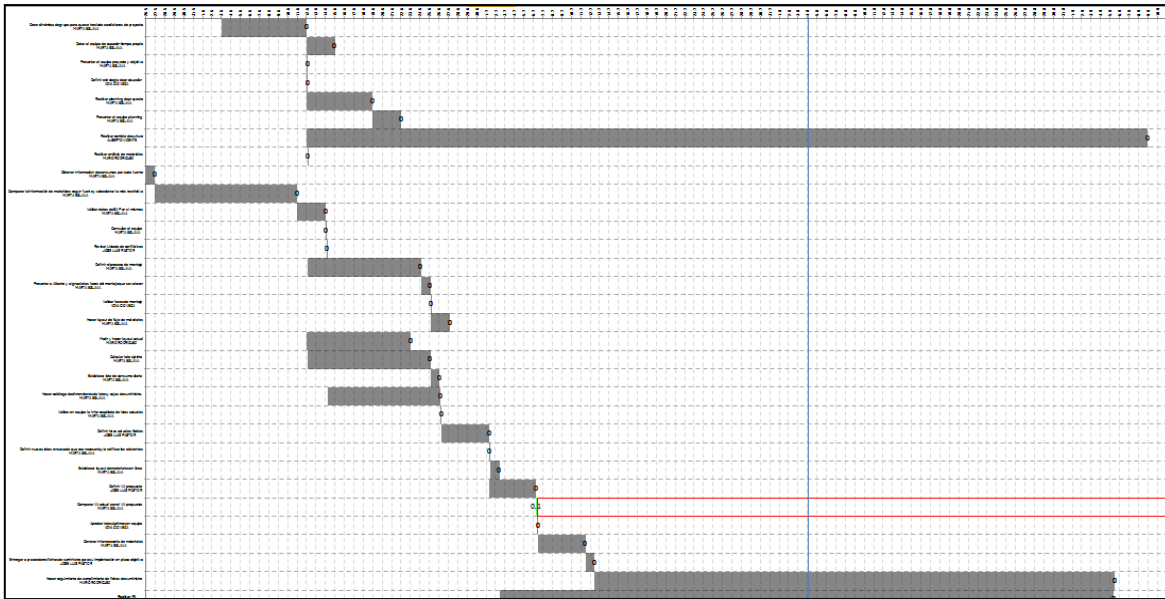


Gráfico 2. Diagrama de Gantt Proyecto “Nueva línea de Limitador de Velocidad”

El planning del proyecto lo podemos dividir en las siguientes etapas:

- Plan for every part (Maestro de materiales) y estudio de lotes donde se realiza un análisis de los materiales y se clasifican en función a unos parámetros.
- Realización del layout (disposición de los materiales) y los puestos de trabajo en planta y establecimiento de los escenarios de trabajo. Definición de ubicación de materiales tanto en borde de línea como de supermercado.
- Rediseño de estándares, con la elaboración de instrucciones de trabajo acordes a la nueva configuración de la línea.
- Balanceo o cronometraje.

Aparte del diagrama de Gantt se pone en marcha un plan de acción con fecha de inicio del 01 de Junio 2015 con una serie de hitos a cumplir con el objetivo de arrancar la nueva línea el 9 Septiembre 2015.

PLAN DE ACCIÓN											
NOMBRE DE EQUIPO		BORDES DE LINEA				FECHA INICIO		03/06/2015			
AREA		PRODUCCIÓN				FECHA PREVISTA FIN		09/09/2015			
OBJETIVO		Optimizar la alimentación de línea de limitadores									
Nº	Objetivo	Obstáculo	ACCIÓN / MEDIDA	Linkado al	RESPONSABLE	FECHA INICIO	FECHA FIN	PLAZO (DÍAS)	DÍAS CONSUMIDO	DÍAS RESTANTE	DÍAS DE EXCESO
1	Alcanzar el objetivo	Conocer exactamente el objetivo y que sea común para todos	Crear dinámica de grupo para que se traslade condiciones de proyecto		MARIO RODRIGUEZ	03/06/2015	12/06/2015	9	9	0	0
2	Alcanzar el objetivo	Que no se forme equipo entre los participantes	Dotar al equipo de espacio-tiempo propio	1	MARTA ESLAVA	12/06/2015	15/06/2015	3	3	0	0
3	Alcanzar el objetivo	Que los participantes del equipo no conozcan el objetivo	Presentar al equipo proyecto y objetivo	1	MARTA ESLAVA	12/06/2015	12/06/2015	0,1	0,1	0	0
4	Definir cómo del objetivo	Que la alimentación de materiales no sea acorde a la planificación de la producción	Definir estrategia de producción	1	IGNACIO VEGA	12/06/2015	12/06/2015	0,1	0,1	0	0
5	Alcanzar el objetivo en plazo	No poder realizar las tareas necesarias en plazo	Realizar planning de proyecto	1	MARIO RODRIGUEZ	12/06/2015	19/06/2015	7	7	0	0
6	Alcanzar el objetivo en plazo	Que el equipo conozca y pueda cumplir las tareas en plazo	Presentar al equipo planning	5	MARIO RODRIGUEZ	19/06/2015	22/06/2015	3	3	0	0
7	Implantar nueva metodología a alimentación línea	Que no asuman los operarios el cambio	Realizar cambio de cultura	1	ALBERTO VICENTE	12/06/2015	09/09/2015	89	89	0	0
8	Implantar nueva metodología a alimentación línea	Obtener información de materiales según pull indicado	Realizar análisis de materiales	4	MARIO RODRIGUEZ	12/06/2015	12/06/2015	0,1	0,1	0	0
9	Implantar nueva metodología a alimentación línea	Identificar la fuente de información más fiables	Obtener información de consumos por cada fuente	1	MARTA ESLAVA	11/05/2015	27/05/2015	16	16	0	0
10	Implantar nueva metodología a alimentación línea	No tener datos de consumo de materiales fiable y consistente	Comparar la información de materiales según fuente y seleccionar la más restrictiva	9	MARTA ESLAVA	27/05/2015	11/06/2015	15	15	0	0
11	Implantar nueva metodología a alimentación línea	Que la información de SAP en cuanto lotes no esté actualizada	Validar datos de SAP en sí mismos	10	MARIO RODRIGUEZ	11/06/2015	14/06/2015	3	3	0	0
12	Implantar nueva metodología a alimentación línea	Datos en SAP no consistentes	Consultar al equipo	11	MARIO RODRIGUEZ	14/06/2015	14/06/2015	0,1	0,1	0	0
13	Implantar nueva metodología a alimentación línea		Revisar Listado de conflictivos	12	JOSE LUIS PASTOR	14/06/2015	14/06/2015	0,1	0,1	0	0
14	Implantar nueva metodología a alimentación línea	Saber que material se consume y dónde	Definir el proceso de montaje	4	MARTA ESLAVA	12/06/2015	24/06/2015	12	12	0	0
15	Implantar nueva metodología a alimentación línea	Definir las fases de montaje	Presentar a Alberto y a Ignacio las fases del montaje que se valoran	14	MARTA ESLAVA	24/06/2015	25/06/2015	1	1	0	0

Figura 18. Plan de acción Proyecto “Nueva línea de Limitador de Velocidad”

La filosofía en un proyecto de este tipo consiste en definir los procesos y los materiales desde el borde de línea hasta el proveedor, intentando siempre eliminar los procesos que no aportan valor al proceso y traspasándolos hacia atrás en la cadena de suministro, tratando siempre que sea posible de reducirlos o eliminarlos. En la siguiente figura, se muestra cuáles son los pasos a seguir desde el inicio de un proyecto. En resumen, muestra como se parte del producto y sus componentes (Maestro de materiales), pasando por el desarrollo del concepto de producción, desarrollando la logística (Step 3) para finalmente crear detalladamente la infraestructura (Elaboración de layout).

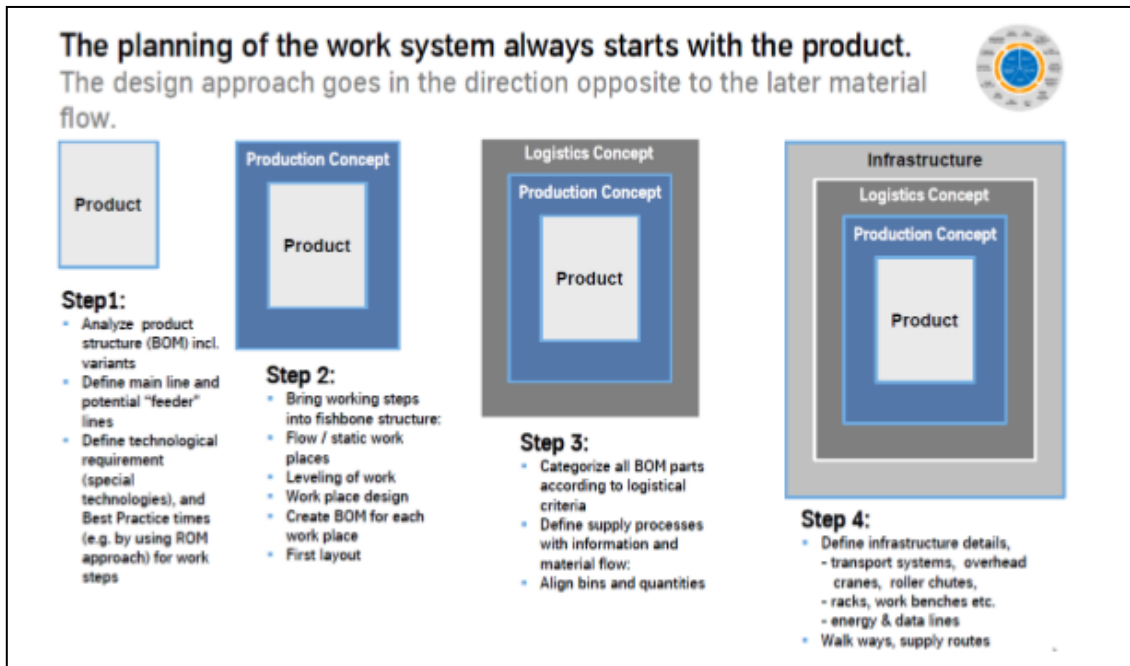


Figura 19. Filosofía de trabajo TKPS (ThyssenKrupp Production System)

5.3. ANÁLISIS DE LOS MATERIALES. PFEP

Para llevar a cabo el análisis de los materiales, utilizamos el PFEP (Plan For Every Part). Es una herramienta imprescindible ya que funciona como el Maestro de materiales del producto que estamos trabajando. El PFEP sirve principalmente para definir todos los materiales que componen el producto: códigos, consumos, dimensiones, y fundamentalmente el estado de los mismo dentro de la cadena de suministro desde proveedor a cliente (en este caso a la línea), con el fin de establecer el flujo óptimo de cada material, ya sea desde proveedor o almacenes intermedios a la línea.

Los primeros pasos a seguir para empezar la clasificación del material son los siguientes:

1. Recopilar todos los materiales que van a la línea, es decir, aquellos materiales que componen nuestro producto, incluyendo todas sus posibles variantes.
2. Identificar los materiales en función a la clase y tipología de material. Para ello utilizamos la siguiente tabla:

Class		Typology	Sub Class	Sub Group
A	A	Expensive	AA.1	bulky & many variations
			AA.2	bulky
			AA.3	many variations
			AA.4	other (monodesign)
	B	Bulky	AB.1	many variations
			AB.2	other (monodesign)
	C	Many variations	AC	
B		Normal	B.1	
			B.2	low rotation
C		Small and cheap	C	

Tabla 3. Tipología de material según herramienta PFEP

Una vez tenemos clasificados los materiales, tenemos que definir qué tipo de flujo van a tener a lo largo de toda la cadena de suministro. Para ello nos servimos de la Matriz de flujo:

CLASS / FLOW / CALLOFF MATRIX					Type of flow									
<div><div>Ideal flow evolution (with B/C analysis)</div><div>Each evolution from a flow to a better one must be supported by an economic analysis of B/C ratio (business case).</div><div><div>1^A</div><div>2^A</div><div>3^A</div></div></div>					In sequence flow					Direct flow	Indirect flow			
					External - from supplier process	External - from supplier warehouse	From advanced warehouse (COG)	Internal from supplier (Mater)	Internal from supplier (Buy)	External - Direct	Internal - from COG	Internal - from warehouse	Internal - from advanced warehouse	
Class	Typology	Sub Class	Sub Group	Examples	JIS1	JIS2	JIS3	JIS4	JIS5	JIT	Ind1	Ind2	Ind3	
A	Expensive	AA.1	bulky & many variations	Engines, axles, dashboards, gearboxes	1 ^A	1 ^A	2 ^A	3 ^A	3 ^A					
		AA.2	bulky	Side panel, spoiler, catalytic converter, etc						1 ^A	2 ^A	4 ^A	3 ^A	
		AA.3	many variations	Junction boxes	1 ^A	1 ^A	2 ^A	3 ^A	3 ^A					
		AA.4	other (monodesign)	Navigator system						1 ^A	2 ^A	4 ^A	3 ^A	
	Bulky	AB.1	many variations	Frames, cross members, wheels, noise insulation panels, tanks	1 ^A	1 ^A	2 ^A	3 ^A	3 ^A					
		AB.2	other (monodesign)	Snorkel, door, urea tank						1 ^A	2 ^A	3 ^A	2 ^A	
	C	Many variations	AC	Engine supports, hoses, small pipes, mirrors				1 ^A	1 ^A					
B	Normal	B.1		Light, silent block						1 ^A	2 ^A	3 ^A	2 ^A	
		B.2	low rotation	Rotating light				1 ^A	1 ^A					
C	Small and cheap	C		Screws, bolts, nuts							1 ^A	2 ^A	3 ^A	

Automat. BOM/Countdown	1 ^A	1 ^A	1 ^A	1 ^A	1 ^A								
Pushbutton					2 ^A	2 ^A							
e-Kanban										1 ^A	1 ^A	1 ^A	1 ^A
Kanban							3 ^A	3 ^A	2 ^A	2 ^A	2 ^A	2 ^A	2 ^A

Tabla 4. Matriz de flujo PFEP

Esta Matriz identifica en función a la clasificación previamente definida, el flujo ideal/ recomendado de los materiales. Existen diferentes tipos de flujo, como podemos ver, que consisten en lo siguiente:

JIS1 es un flujo secuenciado. Material llega al borde de línea en la secuencia del mix de producción. El proveedor produce en la misma secuencia que producimos en la línea y expide directamente a la línea. Es el flujo más “lean” pero requiere una integración completa del proveedor en el proceso productivo.

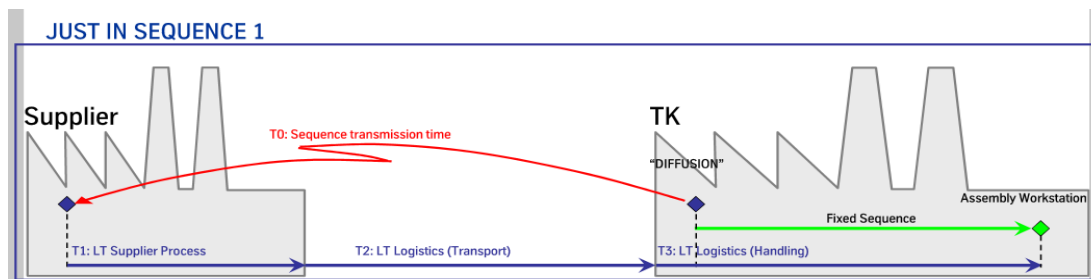


Figura 20. Diagrama de flujo JIS 1

JIS2 Es un flujo secuenciado. Material llega al borde de línea en la secuencia del mix de producción.

El proveedor expide en la misma secuencia que producimos en la línea y expide desde su almacén a la línea. El proveedor no está plenamente integrado y produce en base a un forecast, de ahí que tenga un almacén de expedición.

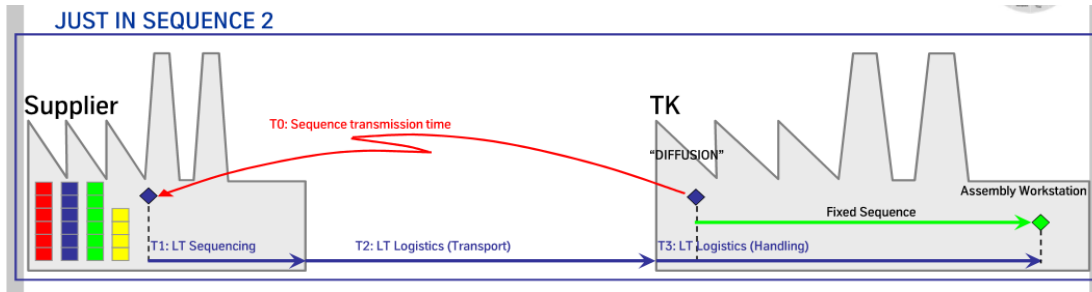


Figura 21. Diagrama de flujo JIS 2

JIS3 es un flujo en secuencia. El material llega en la misma secuencia del mix de producción. El material es expedido desde un almacén avanzado en la misma secuencia que se va a producir en la línea. Este flujo necesita un transporte desde el proveedor al almacén y otro del almacén a la línea.

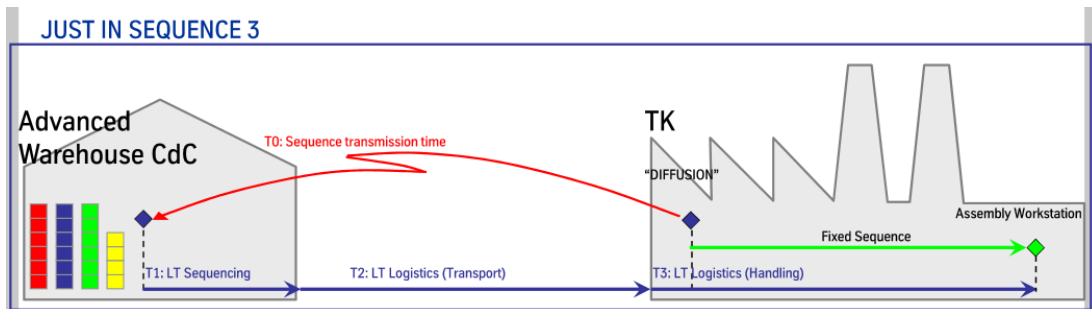


Figura 22. Diagrama de flujo JIS 3

JIS4/5 es un flujo en secuencia. El material llega a la línea en la secuencia en que se va a producir. Se secuencia el material en una zona de picking dentro de la planta y desde ahí se expide a la línea.

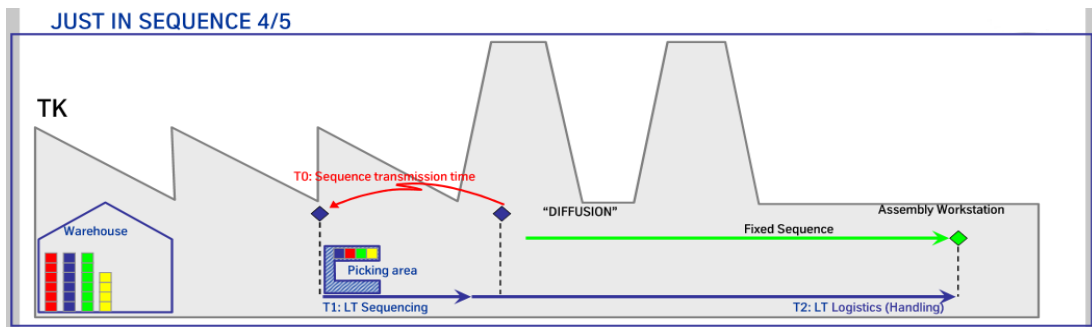


Figura 23. Diagrama de flujo JIS 4/5

JIT es un flujo de material mono diseño expedido justo a tiempo. El material llega a la línea directamente desde el proveedor. Normalmente el proveedor tiene un stock preparado para enviar en su almacén. No es necesaria crear la secuencia para enviar. Cuando se pide el material el proveedor coge el material de su almacén y lo envía.

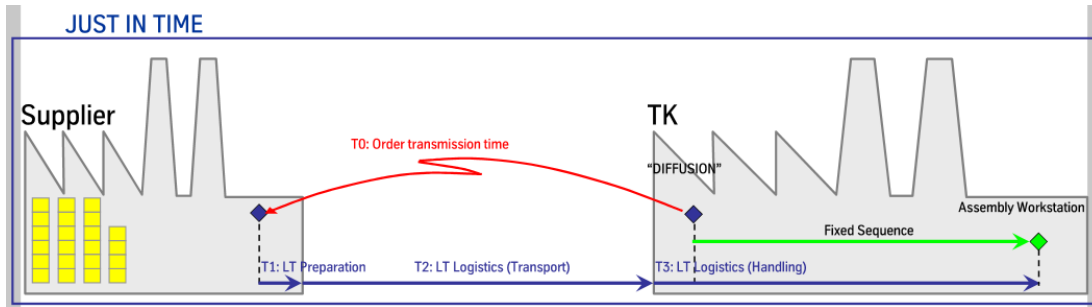


Figura 24. Diagrama de flujo JIT

Indirect 1 es un flujo de producto mono diseño. El material llega a la línea desde un almacén avanzado donde el material se prepara para expedir a la línea.

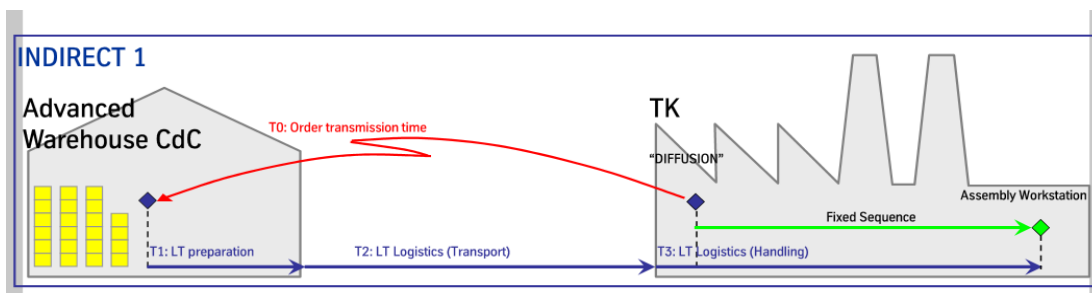


Figura 25. Diagrama de flujo Indirect 1

Indirect 2 es un flujo de producto mono diseño. El material llega a la línea desde el almacén de la planta. Cuando se necesita se recoge para expedir a la línea.

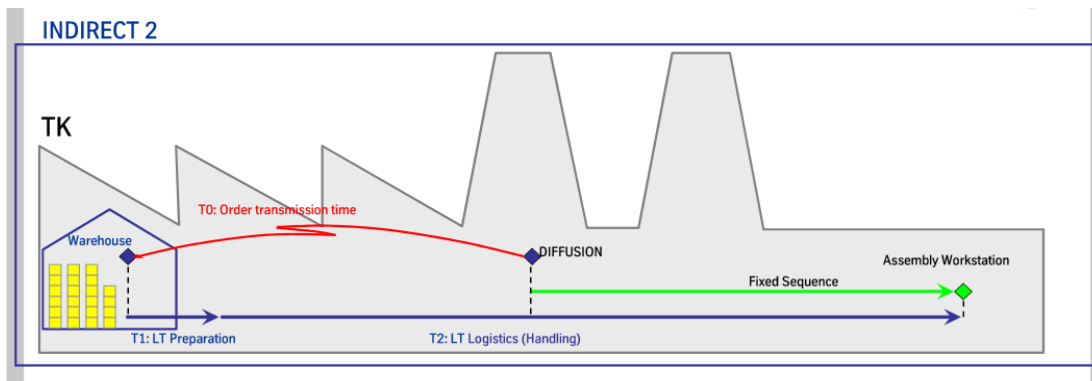


Figura 26. Diagrama de flujo Indirect 2

Indirect 3 es un flujo de producto mono diseño. El material está en el almacén de la planta y alimenta la línea desde un buffer previo.

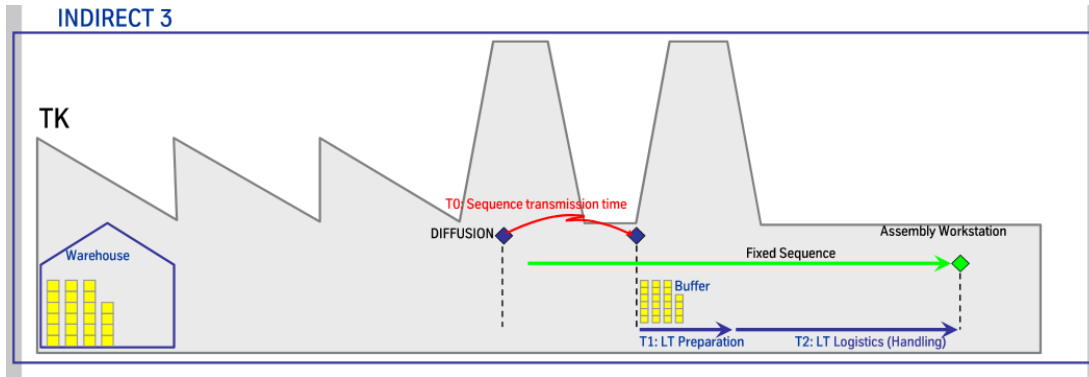


Figura 27. Diagrama de flujo Indirect 3

La siguiente tabla muestra a modo de resumen los diferentes tipos de flujo.

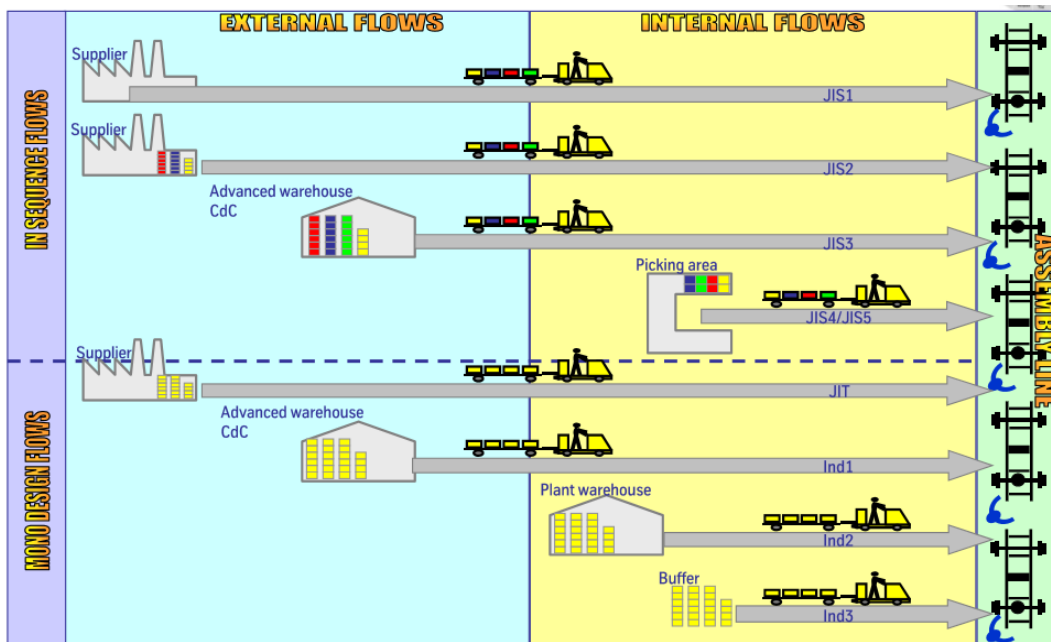


Figura 28. Diagrama resumen tipos de flujo de material recomendado.

Para cada clase y flujo, se define un tipo de llamada recomendada:

KANBAN. Es el sistema más económico de llamada. Cómo funciona:

1. El contenedor se queda vacío y el operario lo pone en el lugar definido para los contenedores vacíos.
2. El operario logístico (encargado del tren logístico) lleva el contenedor vacío al almacén.
3. El operario logístico del almacén sustituye el contenedor vacío por uno lleno.
4. El contenedor lleno se expide a la línea.

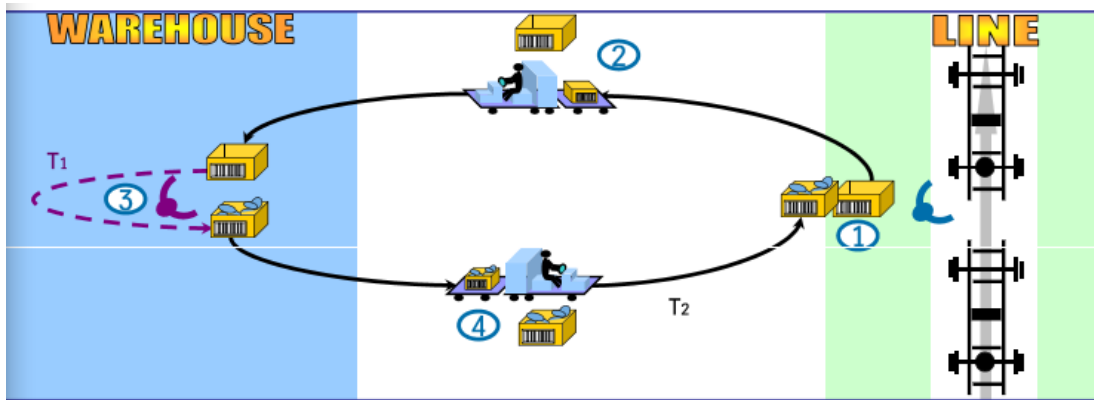


Figura 29. Diagrama de llamada Kanban

SECUENCIADO. Se usa para material voluminoso. Sólo se necesita un contenedor en la línea. Cómo funciona:

1. El contenedor en la línea llega al nivel de material mínimo y se da el aviso al almacén de la necesidad de material.
2. Se envía la necesidad al almacén (o proveedor).
3. El operador logístico (o proveedor) prepara el material.
4. El material se expide a la línea.

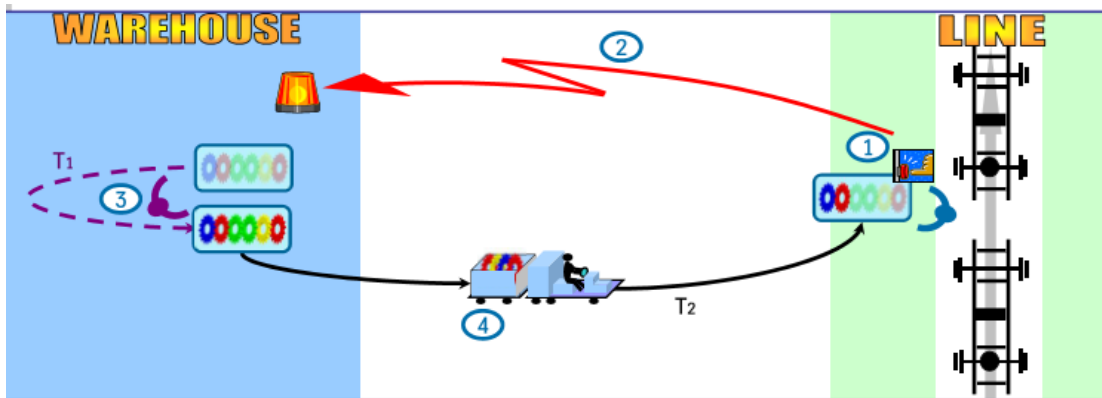


Figura 30. Diagrama de llamada Secuenciado

Con estos conceptos, el PFEP para la línea de Limitadores queda de la siguiente manera:

CÓDIGO Y DESCRIPCIÓN <i>Code and description</i>	LÍNEA <i>Line</i>	PUESTO TRABAJO <i>Workstation</i>	LONGITUD <i>Length</i>	ANCHO <i>Width</i>	ALTURA <i>Height</i>	PESO (kg) <i>Weight (Kg)</i>	CONS. DAY	CONS. SHIFT	PROVEEDOR <i>Supplier</i>	LOTE <i>Box</i>	FLUJO RECOMENDADO <i>Recomm endm flow</i>	SISTEMA INFORMACIÓN <i>Recomm endm code</i>
101057101 Conector enchufable 2 (Y5 Y4)	Montaje	Montaje	320	250	40	0,005	1	21	DICOMAT, S.L.	1	JIS2	MRP
101057201 Conector enchufable hembra 2 (Y5 Y4)	Acabado	Montaje	320	250	40	0,005	1	19	DICOMAT, S.L.	1	JIS2	MRP
101057301 Conector enchufable 2 (Y7 Y6)	Montaje	Montaje	320	250	40	0,005	1	0	DICOMAT, S.L.	1	JIS2	MRP
101057401 Conector enchufable hembra 2 (Y7 Y6)	Acabado	Montaje	320	250	40	0,005	1	0	DICOMAT, S.L.	1	JIS2	MRP
101057501 Conector enchufable 2 (Y8 Y9)	Montaje	Montaje	320	250	40	0,001	1	10	DICOMAT, S.L.	1	JIS2	MRP
101057601 Conector enchufable hembra 2 (Y8 Y9)	Acabado	Montaje	320	250	40	0,005	1	3	DICOMAT, S.L.	1	JIS2	MRP
101057701 Regltero enchufable 4	Montaje	Montaje	320	250	40	0,005	1	18	DICOMAT, S.L.	1	JIS2	MRP
101057801 Conectores hembra 4	Acabado	Montaje	320	250	40	0,005	1	5	DICOMAT, S.L.	1	JIS2	MRP
101057901 Regltero enchufable 6	Montaje	Montaje	320	250	40	0,005	1	18	DICOMAT, S.L.	1	JIS2	MRP
101058201 Conectores hembra 6	Acabado	Montaje	320	250	40	0,005	1	5	DICOMAT, S.L.	1	JIS2	MRP
101058301 conector enchufable 4 cene	Montaje	Montaje	320	250	40	0,005	1	13	DICOMAT, S.L.	1	JIS2	MRP
101058401 Conector enchufable 4 cene	Acabado	Montaje	320	250	40	0,67032	1	3	DICOMAT, S.L.	1	JIS2	MRP
101058601 Etiqueta dirección	Acabado	Acabado	190	140	100	0,001	1	31	ARTEGRAFIC, SDAQ, COOPERATIVA MADRI	1	JIS2	MRP
101058701 Conector enchufable 3 (Z7 Z6 Z5)	Montaje	Montaje	320	250	40	0,001	1	0	DICOMAT, S.L.	1	JIS2	MRP
101058901 Caja de conexiones completa	Acabado	Montaje	336	160	130	0,05	1	23	PLACISA, S.L.	1	JIS2	MRP
101068401 Disco inductores M12 SG300	Montaje	Montaje	500	370	250	1,06	1	0	MATRICERIAS DEL CENTRO, S.L.	1	JIS2	MRP
101070601 Arandela muelle	Montaje	Montaje	170	100	80	0,03	1	5	TALLERES MECANICOS BEGAL, S.L.	1	JIS2	MRP
101070701 Muelle	Montaje	Montaje	236	160	130	0,01	1	5	INDUSTRIAS PAMPO, S.L.	1	JIS2	MRP
101072001 Trinquete equipado (resorte 13052891)	Montaje	Montaje	500	370	250	0,67032	1	44	MATRICERIAS DEL CENTRO, S.L.	1	JIS2	MRP
101072002 Trinquete equipado (resorte 13021491)	Montaje	Montaje	500	370	250	0,67032	1	1	MATRICERIAS DEL CENTRO, S.L.	1	JIS2	MRP
101072003 Trinquete equipado (resorte 13022091)	Montaje	Montaje	500	370	250	0,67032	1	1	MATRICERIAS DEL CENTRO, S.L.	1	JIS2	MRP
101072005 Trinquete equipado (resorte 13060503)	Montaje	Montaje	500	370	250	0,67032	1	0	MATRICERIAS DEL CENTRO, S.L.	1	JIS2	MRP
101072006 Trinquete Equipado	Montaje	Montaje	500	370	250	0,67032	1	3	MATRICERIAS DEL CENTRO, S.L.	1	JIS2	MRP
101072101 Polea equipada SG-200	Montaje	Montaje	420	210	240	3,4	1	48	CONST. MECANICAS CASTELLO, S.L.	1	JIS2	MRP
101072401 Soporte caja conexiones equipada	Acabado	Acabado	420	210	240	0,715	1	23	EGIKOR, S.A	1	JIS4	MRP
101072701 Polea equipada SG-300	Montaje	Montaje	310	310	330	7,87	1	1	CONST. MECANICAS CASTELLO, S.L.	1	JIS2	MRP
101080401 Soporte Conexiones of Terminal 01	Acabado	Acabado	420	330	270	0,17	1	22	EGIKOR, S.A	1	JIS2	MRP
101080403 Soporte Conexiones of Terminal 03	Acabado	Acabado	420	330	270	0,17	1	1	EGIKOR, S.A	1	JIS2	MRP
101080601 Protección Cable SGN D300	Acabado	Acabado	336	160	130	0,27	1	1	MATRICERIAS DEL CENTRO, S.L.	1	JIS2	MRP
101084301 Soporte Contacto Frecorte	Montaje	Montaje	180	140	100	0,67	1	2	EGIKOR, S.A	1	JIS2	MRP
101085101 UNION SOPORTE	Acabado	Túnel Pintura	320	220	170	0,7	1	23	EGIKOR, S.A	1	JIS2	MRP
101085201 Eje	Montaje	Montaje	250	250	170	0,04	1	23	ALTA PRECISIÓN INDUSTRIAL MECÁNICA	1	JIS2	MRP
101085501 RESBALON	Montaje	Montaje	180	140	100	0,01	1	23	EGIKOR, S.A	1	JIS2	MRP
101085501 RESBALON	Montaje	Montaje	180	140	100	0,01	1	23	EGIKOR, S.A	1	JIS2	MRP

Tabla 5. PFEP general de componentes SG-N

Con el fin de entrar en detalle, aparte del PFEP general de todos los materiales que constituyen el producto en cuestión, se realiza un PFEP específico para cada puesto de trabajo que compone la Línea dónde se definen Lotes, flujos de suministro y tipos de embalaje y formas de suministro.

LOTE <i>Box</i>	STOCK SEGURIDAD	VALOR DE REDONDEO	SUMINISTRO A LÍNEA	OBSERVACIONES <i>Notes</i>	FLUJO RECOMENDADO <i>Recomm endée flow</i>	SISTEMA INFORMACIÓN <i>Recomm endée callor</i>	EMBALAJE <i>Packaging línea</i>	SUMINISTRO ESTANTERÍA- PUESTO
500	1000	500	500		JIS2	KANBAN	Gaveta 51	Tren log
3000	1500	1000	1000		JIS2	KANBAN	Gaveta 51	Tren log
1000	500	1000	1000		JIS2	KANBAN	Gaveta 51	Tren log
5000	1000	5000	5000		JIS2	KANBAN	Gaveta 51	Tren log
1000	500	0	1000		JIS2	KANBAN	Gaveta 51	Tren log
15000	1000	1000	1000		JIS2	KANBAN	Armario	Tren log
200	50	50	200		JIS2	KANBAN	PALET	Tren log
5000	1000	1000	1000		JIS2	KANBAN	Gaveta 51	Tren log
0	0	0	#N/A	T. Propio	JIS2	KANBAN	Gaveta k300/1	Tren log
800	0	200	200	T. Propio	JIS2	KANBAN	Gaveta k300/1	Tren log
200	100	0	0		JIS2	KANBAN	Bandeja	Tren log
500	200	0	25		JIS2	KANBAN	Gaveta k300/1	Tren log
100	0	100	100	T. Propio	JIS2	KANBAN	Gaveta k300/1	Tren log
0	0	0	100		JIS2	KANBAN	Gaveta 52	Tren log
40	200	100	200		JIS2	KANBAN	Gaveta 52	Tren log
100	200	100	200		JIS2	KANBAN	Gaveta 52	Tren log
0	5	0	100		JIS2	KANBAN	Gaveta 52	Tren log
0	25	0	100		JIS2	KANBAN	Gaveta 52	Tren log
100	75	50	50		JIS2	KANBAN	Gaveta 52	Tren log
150	100	50	50		JIS2	KANBAN	Gaveta 52	Tren log
100	75	50	50		JIS2	KANBAN	Gaveta 52	Tren log
600	300	0	100		JIS2	KANBAN	Gaveta 51	Tren log
1200	100	1200	1200		JIS2	KANBAN	Gaveta k300/1	Tren log
500	200	0	0		JIS4	KANBAN	Gaveta k300/1	Tren log
30	300	0	60		JIS2	KANBAN	Gaveta k300/1	Tren log
0	10	0	24		JIS2	KANBAN	Gaveta k300/1	Tren log
102	0	0	50	T. Propio	JIS2	KANBAN	Gaveta k300/1	Tren log
20	150	20	35		JIS2	KANBAN	Gaveta k300/1	Tren log
20	150	20	100		JIS2	KANBAN	Gaveta k300/1	Tren log
0	5	0	25		JIS2	KANBAN	Gaveta k300/1	Tren log
200	25	0	11	T. Propio	JIS2	KANBAN	EU-6417L	Tren log
80	0	0	14	T. Propio	JIS2	KANBAN	Gaveta k300/1	Tren log
50	0	0	8	T. Propio	JIS2	KANBAN	EU-6417L	Tren log
0	1000	0	0		JIS2	KANBAN	Gaveta 51	Tren log
100	0	100	100	Tornillería	JIS2	KANBAN	Gaveta 51	Tren Log
0	0	0	#N/A		JIS2	KANBAN	Gaveta K300/1	Tren Log

Tabla 6. Nivel de detalle de PFEP SG-N

La tendencia a la hora de crear una línea de fabricación siempre debe ir dirigida para trabajar con los materiales en kanban, sin embargo, esto no siempre es posible debido a factores como:

- Espacio disponible en línea.
- Rotación del stock.
- Valor del inventario inmovilizado o Net Working Capital (NWC)

La ventaja fundamental que hay de trabajar los materiales con kanban es reducir las paradas en línea por falta de material.

Tras el análisis de los materiales, y tener nuestro Maestro de materiales definido, el % de materiales que tenemos como Kanban vs Secuenciado es el siguiente:

SPEED GOVERNORS LINE

TOTAL PIEZAS 91

SECUENCIADO	9	10%
-------------	---	-----

KANBAN	82	90%
--------	----	-----

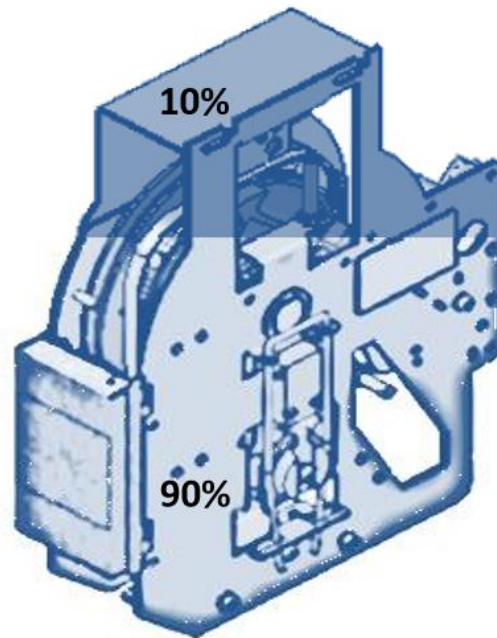


Gráfico 3. Material Kanban vs Secuenciado

5.4. ELABORACIÓN DEL LAYOUT.

Una de las ventajas, y por eso es importante que se defina previamente, del PFEP es que te da una estimación bastante acertada del espacio que vas a necesitar para ubicar el material por puesto y por consiguiente a lo largo de la línea, es decir, en función del volumen de material que hemos clasificado como kanban o como secuenciado, podemos definir el borde de línea ajustándolo al espacio del que contamos en planta.

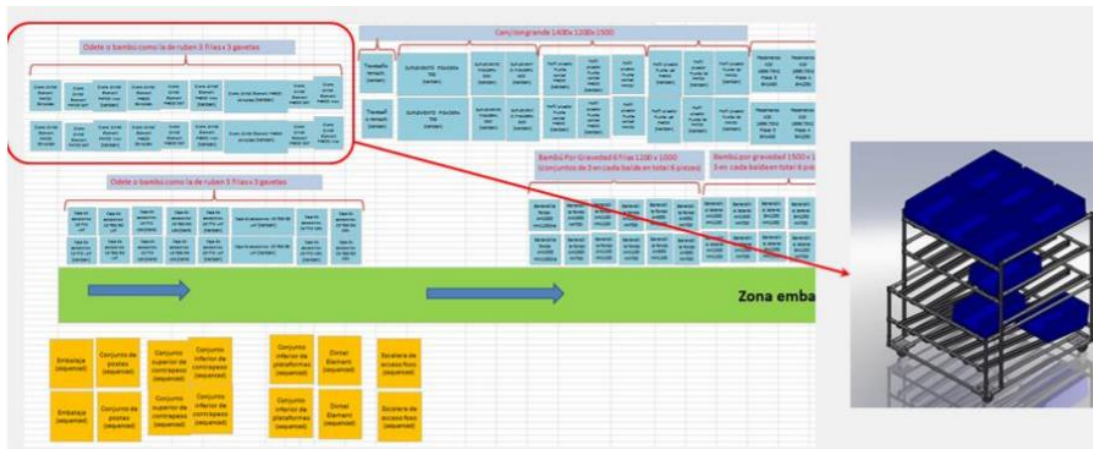


Figura 31. Pre-layout Línea SG-N según PFEP

Entre los aspectos importantes a tener en cuenta a la hora de realizar el layout se encuentran:

- Puestos de trabajo ergonómicos. Respetando los espacios de trabajo, movimientos repetitivos de elevación de cargas, etc. Siempre pensando en no penalizar la productividad de la línea.
- Existencia de buffer de los materiales acabados entre una estación de trabajo y la siguiente en la cadena, con el fin de absorber paradas de línea por instauración de la misma.
- Utilización de estanterías dinámicas y dispositivos de almacenamiento con ruedas para garantizar el FIFO y permitir realizar el kanban de los materiales almacenados en europalet.



Figura 32. Ejemplo de buenas prácticas. (Ergonomía)

-Dimensionamiento de los materiales y puestos de trabajo atendiendo al número de trabajadores en la línea y las unidades por turno calculadas.

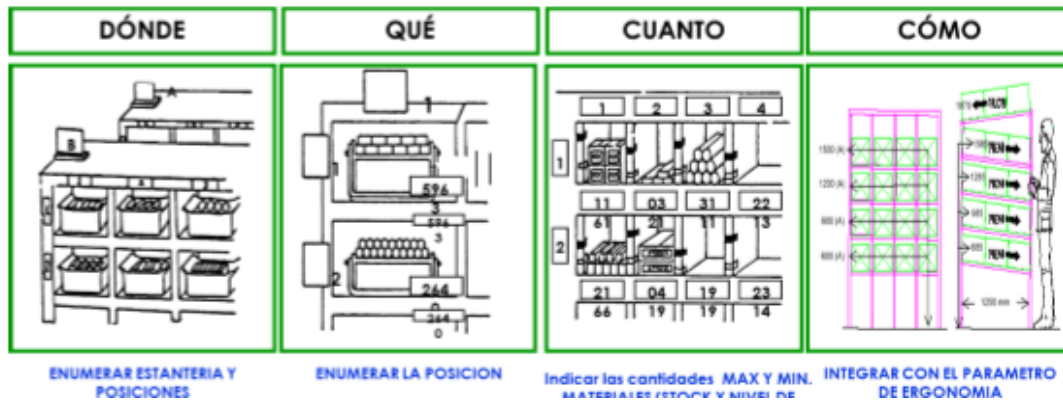


Figura 33. Colocación de materiales en Línea

Este punto es de vital importancia, ya que dependiendo de la cantidad de material establecido en la línea se generará una rotación de stock mayor o menor con un número mayor de desplazamientos del carretillero o menor.

La situación de la que se partía en la línea de limitadores era la siguiente: La línea constaba de 3 puestos: Premontaje, Montaje y Regulación, con una configuración de 5 personas.

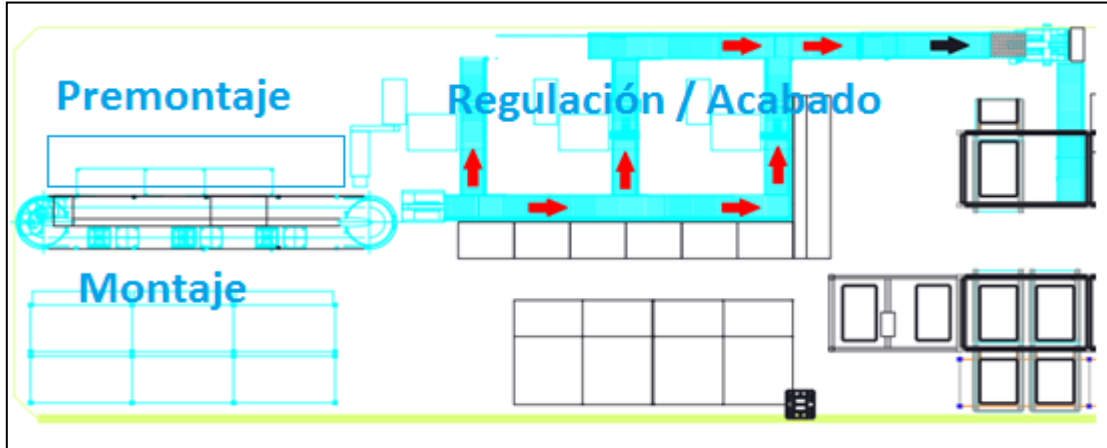


Figura 34. Layout inicia Línea SG-N

Teniendo en cuenta los aspectos citados anteriormente, se tenía que mejorar principalmente en dos de ellos. La ergonomía, tanto del puesto de montaje como del premontaje, y en la implantación del FIFO. Además, la estantería que alimentaba el montaje de los Limitadores contaba con un sobre-stock innecesario, por lo que había que trabajar en optimizar al máximo las ubicaciones en estantería para crear una rotación de material acorde a la capacidad productiva de la línea.

Uno de los puestos con mayor ineficiencia en la línea era el premontaje. El % de NVAA en nuestra línea suponía el 65% de las pérdidas. El elevado nº de movimientos en este puesto se debía a que no contaba con estanterías que alimentasen el puesto, por lo que el operario recorría y empleaba mucho tiempo en coger y suministrarse él mismo su propio material.

Por otro lado, nuestro cuello de botella era el puesto de regulación, con capacidad máxima de 26 UN/máquina, así pues debíamos reducir tiempo de operación en el puesto con el fin de lograr una mejora productiva en la línea.

Este análisis concluyó en varios puntos:

- Quitar el puesto de premontaje e incluir todas las operaciones en el puesto de montaje.
- Sustituir el almacén de material del puesto de montaje por estanterías dinámicas.
- Reducir todas aquellas operaciones que no fueran inherentes a la propia calibración del producto, es decir, las operaciones de acabado y empaquetado del Limitador de velocidad debían sacarse fuera de la estación de regulación.

El layout futuro quedaría configurado de la siguiente forma:

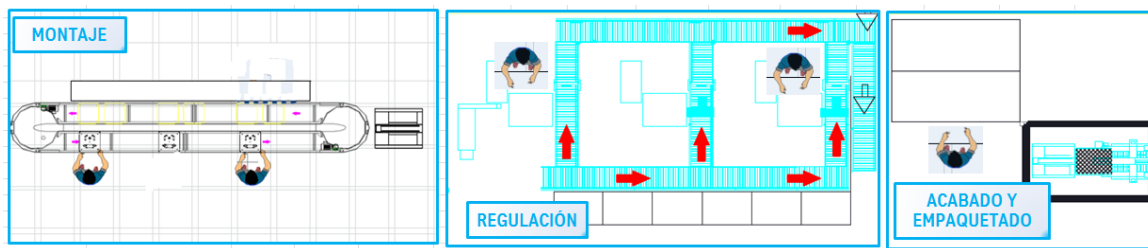


Figura 35. Layout Futuro Línea SG-N

Con la ayuda de programas de diseño como el SolidWorks, se definió el área de la línea que mayor cambio iba a tener, el área de montaje. Por un lado, la estantería de almacén se sustituyó por estanterías dinámicas, y para trabajar a KANBAN con los materiales más voluminosos y pesados se instalaron estructuras en H, que permiten el giro completo para trabajar con carros de tamaño europalet.

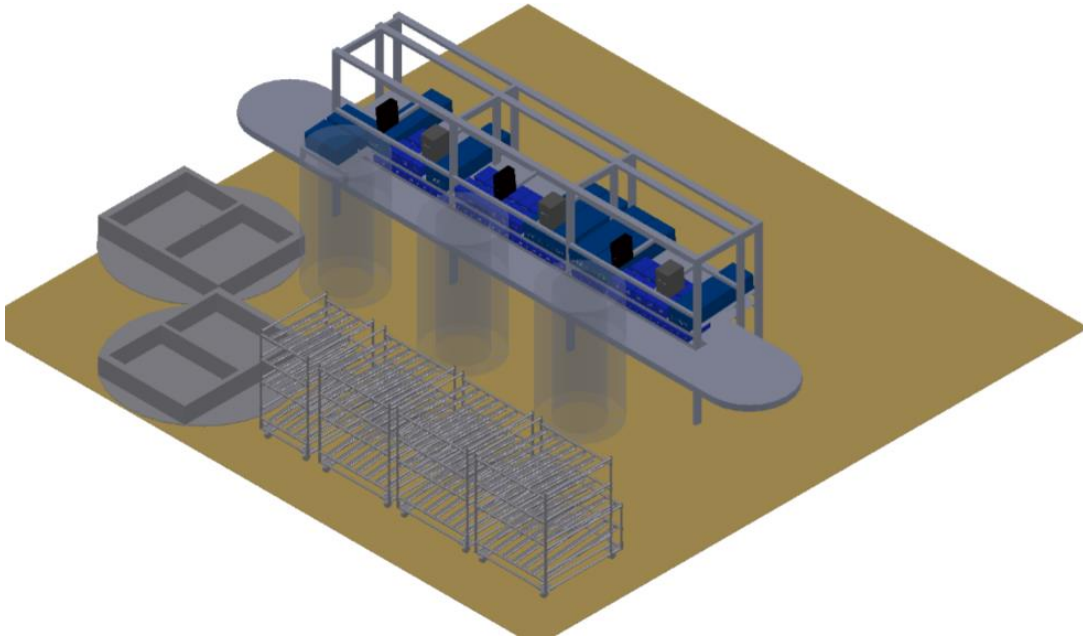


Figura 36. 3D Layout Futuro Línea SG-N

Para que nuestro equipo de mantenimiento pudiera llevar a cabo la modificación de la instalación de la mejor manera posible, se realizó un plano, para que sirviese de referencia.

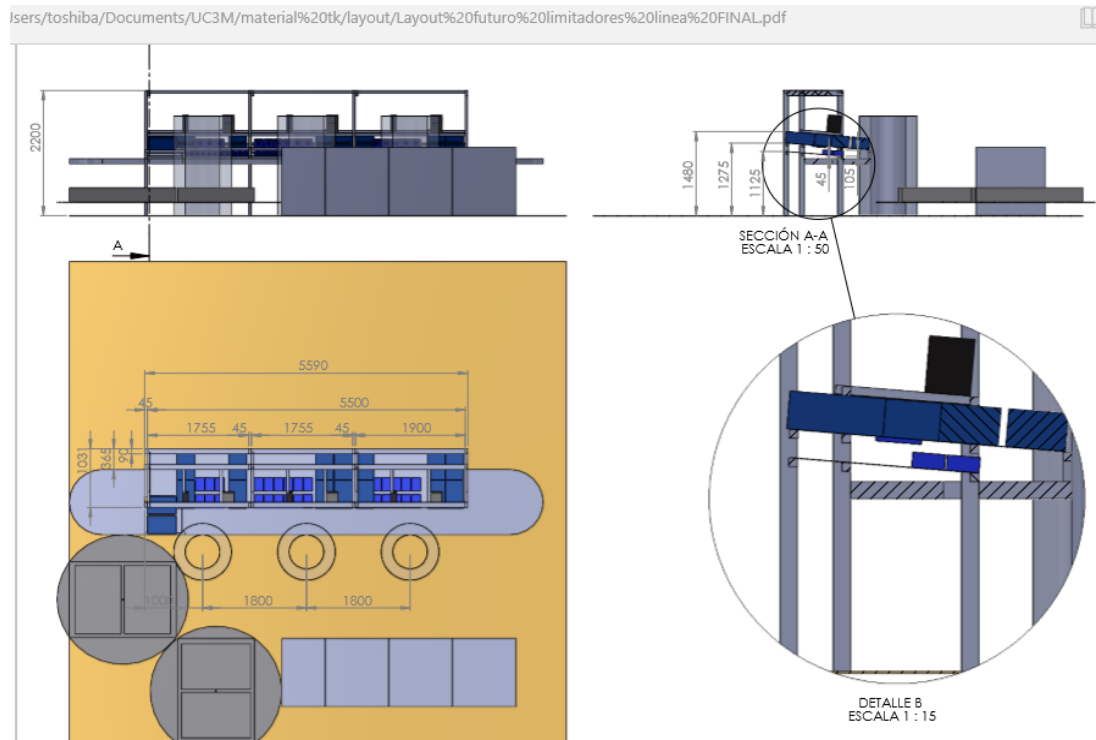


Figura 37. Plano Layout Línea Nueva SG-N

En base a los procesos existentes hasta ese momento, adaptándolo a la nueva configuración de línea, se estimó, previo al cronometraje, una capacidad productiva de la línea a 30 UN/máquina.

5.4.1. LAYOUT BORDE DE LÍNEA

Para crear un flujo óptimo a lo largo de toda la cadena de suministro, y establecer una rotación de stock sensible al nuevo ritmo de la línea hay que definir el Layout de las estanterías, tanto las de borde de línea, como la de supermercado. Mediante la creación de ubicaciones fijas en el almacén, se puede establecer un sistema FIFO (First in-First out), es decir, lo primero que entra es lo primero que se consume.

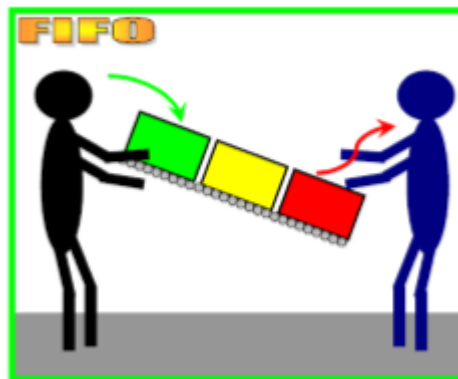


Figura 38. FIFO (First in-First out)

Si mapeamos cada almacén de material, desde la línea hasta proveedor, el flujo de materiales quedaría de la siguiente forma:

El operador logístico detecta una falta de material en almacén de borde de línea por contenedor vacío.

El operador logístico acude al supermercado a reponer contenedor vacío por contenedor lleno, mientras en la línea siguen trabajando sin parada por trabajar con doble ubicación (KANBAN).

En supermercado también se crea una segunda ubicación, al igual que en borde de línea, y se almacena en KANBAN, con el fin de tener una llamada a tiempo a proveedor ante posibles paradas por falta de material.

Mediante esta forma de trabajo el flujo de materiales trabaja en sistema PULL, es decir, la línea genera la necesidad de material y “tira” de toda la cadena de suministro anterior a la línea. De esta forma es fácil detectar faltas de material antes de que lleguen a línea.

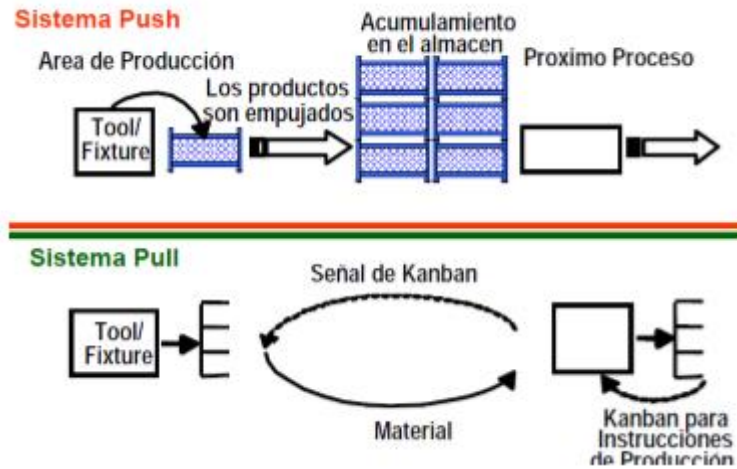


Figura 39. Sistema Push vs Pull

Si siguiendo esta filosofía el layout de los productos en Kanban de borde de línea queda de la siguiente forma:

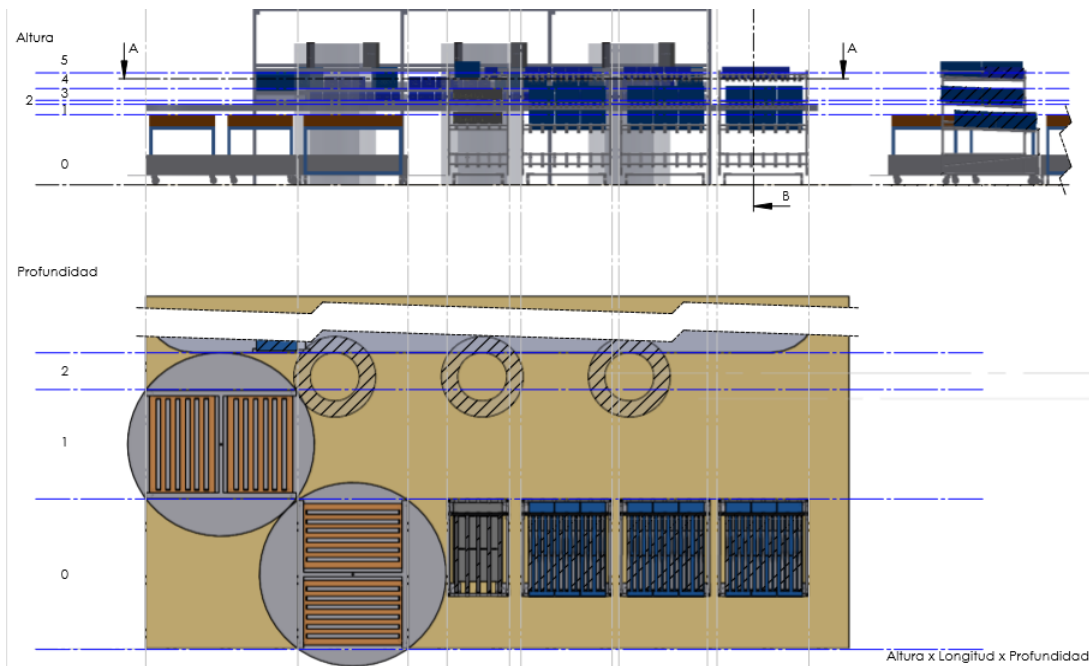
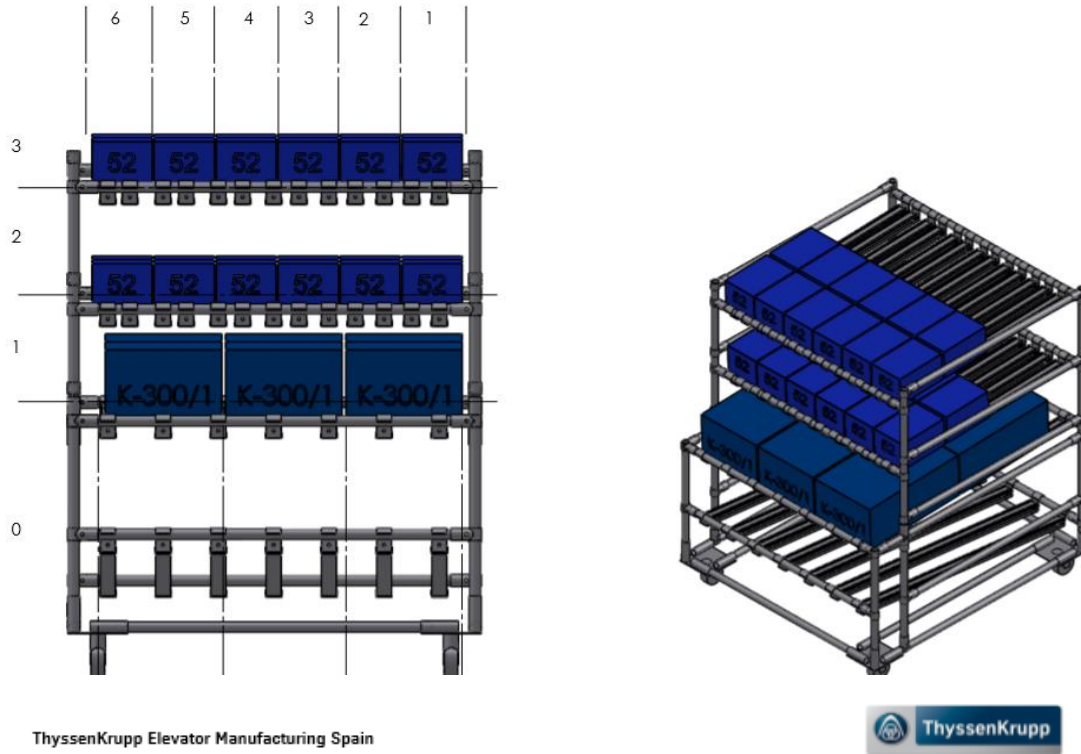


Figura 40. Layout Materiales en KANBAN (Gavetas)

Una vez queda definido de forma clara como se compone el borde de línea, hay que definir qué materiales van en cada carro. Para ello, se definen las ubicaciones para los códigos de las estanterías dinámicas.



ThyssenKrupp Elevator Manufacturing Spain



Listado de referencia de códigos en gaveta normalizada <i>Code list box</i>			INGENIERIA DE PROCESOS <i>Process Engineering</i>	
PROVEEDOR Punto de cosumo	(Todas) En carro de acabado			
Código / Descripción	Cantidad primaria	Peso primario	Cantidad secundaria	Peso secundario
Actual				
1000020977 Torn. DIN 7991 M-6x8	1000	1	1000	1
1000021716 Arandela V 6,4 DIN 6798	1000	1	1000	1
1009509700 Manual de limitador y tensor SG	200	2,1	400	4,2
1009509701 Declaración CEE Limitador	0	0	0	0
1013058601 Etiqueta dirección	100	0,1	200	0,2
1013087701 Poliestileno SGN 300	50	31	100	62
1013089301 Caja Limitador SGN 300	5	5,55	10	11,1
1039100701 CARTEL PELIGRO	0	0	0	0
EU-6417L				
1013088401 Soporte SG 200 CCM	11	20,57	44	82,28
1013088501 Soporte SG 300 CCM	8	13,76	16	27,52
Gaveta 52				
1013056801 Conector enchufable hembra 4 (B A 0 +V)	100	0,5	100	0,5
1013057001 Conector enchufable hembra 3 (Y3 Y2 Y1)	200	1	200	1
1013057201 Conector enchufable hembra 2 (Y5 Y4)	200	1	200	1
1013057401 Conector enchufable hembra 2 (Y7 Y6)	100	0,5	100	0,5
1013057601 Conector enchufable hembra 2 (Y8 Y9)	100	0,5	100	0,5
1013059001 Caja de conexiones completa parte superior	1200	24	2400	48
Gaveta K300/1				
1013059001 Caja de conexiones completa parte inferior	1200	60	2400	120
1013085101 UNION SOPORTE	35	24,5	210	147
1013088001 TAPA CONECTORES	100	13	200	26
1013088201 Union Soportes	25	20,25	25	20,25
1013088402 Soporte SG 200	14	26,18	14	26,18

Figura 41. Listado de referencia de código en gaveta normalizada

5.4.2. LAYOUT SUPERMERCADO.

Una vez se ha definido cómo será nuestro borde de línea, tenemos que hacer un ejercicio similar con el supermercado.

El supermercado es uno de los puntos más determinantes a la hora de crear flujo en la cadena de suministro.

Se define como un área de procesos logísticos que controla el stock de los materiales (max-min) y que provee todos los materiales al tren logístico para alimentar las líneas de producción.

Los objetivos que marcan la creación de un supermercado son los siguientes:

- Minimizar el número de desplazamientos entre las diferentes etapas de montaje.
- Eliminar/reducir los movimientos de no valor añadido NVAA en los puntos de montaje.
- Regular la logística interna de la fábrica.
- Asegurar la calidad en la entrega y el número correcto de unidades a alimentar en cada puesto de trabajo.

El impacto principal que tiene la creación de un supermercado es la creación de un flujo constante directamente ligado al tac de la línea de producción, reduce el número de carretilleros en fábrica por el cambio a tren logístico, lo que supone una mejora sustancial en cuanto a la seguridad de la fábrica, aumentas la flexibilidad de la línea y mejoras reduciendo el tiempo de entrega a la línea ante una mayor variabilidad del mix de producto.

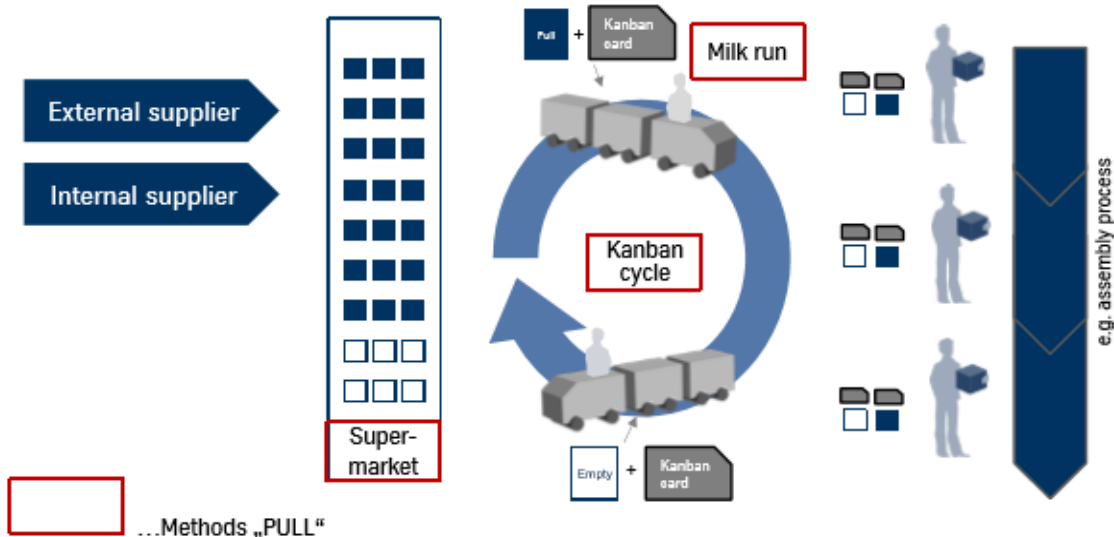
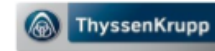


Figura 42. Sistema de Llamada KANBAN

Para conseguir esto, en primer lugar hay que analizar cuánto espacio en fábrica se cuenta para establecer el supermercado.

Para ello se realiza un estudio de lotes, por dos motivos, uno para poder adaptarlo al espacio de estantería, y dos, para optimizarlo a la capacidad de la línea. En este punto entran en juego factores importantes cómo las dimensiones del propio material, plazos...

ThyssenKrupp Elevator Manufacturing Spain



Listado de referencia de códigos en gaveta normalizada <i>Code list box</i>		INGENIERIA DE PROCESOS <i>Process Engineering</i>			
Modelo Ficha Suministro	(Todas)	Peso en KG sin incluir peso gaveta			
Código / Descripción	Cantidad primaria	Peso primario	Cantidad secundaria	Peso secundario	
1000020122 TORN. D84 M-4X30	1000	1	1000	1	
1000020272 TORN. D812 M-6X8 C/8.8	500	0,5	2000	2	
1000020273 TORN. D812 M-6X16 C/8.8	1000	1	4000	4	
1000020336 Torn. DIN 6812 M-6x20	500	0,5	500	0,5	
1000020338 TORN.D912 M4x16	1000	1	1000	1	
1000020873 TOR.GOTA SEBO HEXAG.INT. M4x8 ISO7380 CI	1000	1	3000	3	
1000020885 TORN. D7981 M-2,9X6,5 cincado	5000	5	5000	5	
1000020951 TORNILLO AVELLANADO M5x8 DIN 7991	1000	1	2000	2	
1000020952 DIN 7991M3x8- 10.9- C/12	1000	1	4000	4	
1000020977 Torn. DIN 7991 M-6x8	1000	1	1000	1	
1000021286 TUERCA D934 M-4 CINCADA	5000	5	25000	25	
1000021287 TUERCA D934 M-5 C/8.8 GALV.	5000	5	5000	5	
1000021297 TUERCA D934 M-6 C/8.8 CINCADA	2000	2	2000	2	
1000021332 TUERCA ALMENADA D935 M-8 C/8.8 GALV.	100	0,1	1000	1	
1000021420 TUERCA SEG. D985 M-4 CINCADA	2000	2	2000	2	
1000021421 TUERCA SEG. D985 M-5 CINCADA	2000	2	4000	4	

Tabla 7. Estimación Lote Ficha Condiciones de Suministro

El factor que determina si optimizamos más o menos el lote del producto será el plazo de acopio que tengan los materiales. El estudio de lotes define el nº de piezas mínimo que se pide a proveedor, y el lote de suministro a borde de línea en función a las dimensiones y a los plazos de acopio de los mismos.

CÓDIGO	PROVEEDOR	NOMBRE	SAP ACTUAL					DATOS EXISTENTES EN MM				RI	Borde Línea	
			AV cons/sem 1/10 a 30/04 (24s)	stock 18/05/15	cobertura (s)	ABC	STOCK DE SEGURIDAD	LP	PZE MM días labor	Tamaño lote min	Valor de redondeo		Tamaño Bulto	Cantidad diana
1000020119	10902795	BOSSARD SPAIN, S.A.	52	1036	20	C	100	TM	10	2000	100	0	Gaveta 5	16
1000020122	10905147	WÜRTH INDUSTRIA ESPAÑA, S.A.	97	1466	15	C	100	TM	10	1000	100	0	Gaveta 5	10
1000020272	10905147	WÜRTH INDUSTRIA ESPAÑA, S.A.	234	3483	15	C	500	TM	10	2000	500	0	Gaveta 5	52
1000020273	10905147	WÜRTH INDUSTRIA ESPAÑA, S.A.	564	5587	10	C	1000	TM	10	4000	1000	0	Gaveta 5	71
1000020336	10905147	WÜRTH INDUSTRIA ESPAÑA, S.A.	762	5247	7	C	1000	TM	10	500	1000	0	Gaveta 5	113
1000020338	10905147	WÜRTH INDUSTRIA ESPAÑA, S.A.	450	3260	7	C	500	TM	14	1000	500	500	Gaveta 5	78
1000020873	10905147	WÜRTH INDUSTRIA ESPAÑA, S.A.	808	8850	11	C	1000	TM	10	3000	1000	0	Gaveta 5	152
1000020885	10902795	BOSSARD SPAIN, S.A.	189	4064	22	C	50	TM	10	5000	50	0	Gaveta 5	40
1000020951	10902795	BOSSARD SPAIN, S.A.	462	7381	16	C	1500	TM	10	3000	1500	0	Gaveta 5	104
1000020952	10902795	BOSSARD SPAIN, S.A.	402	7020	17	C	1500	TM	10	4000	1500	0	Gaveta 5	120
1000020977	10905147	WÜRTH INDUSTRIA ESPAÑA, S.A.	345	1892	5	C	500	TM	10	1000	500	0	Gaveta 5	48
1000021286	10900159	ANA MARIA CHURRUCA CORTAZAR	94	54688	580	C	100	TM	10	5000	100	0	Gaveta 5	20
1000021287	10900159	ANA MARIA CHURRUCA CORTAZAR	444	19877	45	C	500	TM	10	5000	500	0	Gaveta 5	83

Tabla 8. Estudio de Lotes por referencia

No siempre se podrá llegar a optimizar al máximo los lotes. Frecuentemente, o por el contrato existente entre la empresa y el proveedor que definen los lotes en busca de reducción de precios, por lejanía y por falta de recursos del proveedor al no tener transporte propio, esta tarea se vuelve en ocasiones demasiado compleja, obligando a adaptarse a lo que se definió a inicio de contrato.

A raíz del estudio de lotes surge la necesidad de crear un estándar en el modo de suministro de los materiales. Este estándar se crea por el responsable de procesos, y debe respetar el espacio necesario para los lotes previamente definidos, debe de realizarse siempre con el objetivo de que no suponga un incremento en el precio del producto, y en caso de tratarse de materiales voluminosos, que sea seguro tanto en el transporte como la posterior manipulación en fábrica.

Definimos este estándar como la Ficha de Condiciones de Suministro (FCS). Éstas deben de ser claras y entendidas por el proveedor, ya que son de necesario cumplimiento por su parte y de seguimiento por el departamento de Calidad de Proveedores. El no cumplimiento de la FCS conlleva rechazo del material.

A continuación mostramos ejemplos de las que se han definido para la línea de Limitadores.

ThyssenKrupp Elevator Manufacturing Spain		ThyssenKrupp
INGENIERIA DE PRODUCCIÓN	FICHA CONDICIONES DE SUMINISTRO	Rev. 03 (07/15) Página 1
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> INFORMACIÓN DE PRODUCTO Código(s) 1013072101 Descripción Polea equipada SG-200 Peso (kg) 3,4 </div> <div style="width: 45%;"> INFORMACIÓN ADICIONAL DE IDENTIFICACIÓN <input type="checkbox"/> Etiquetado DATAMATRIX <input checked="" type="checkbox"/> Peso por caja </div> </div>		
<div style="display: flex;"> <div style="width: 30%;"> DATOS DE EMBALAJE <input type="checkbox"/> EMBALAJE PRIMARIO Tipo <input type="text"/> Materiales <input type="text"/> Durabilidad <input type="text"/> Dimensiones { largo (mm) 1200, ancho (mm) 800, alto (mm) 540 Cantidad (uds) <input type="text"/> Peso máximo (kg) <input type="text"/> <input checked="" type="checkbox"/> EMBALAJE SECUNDARIO Tipo Europalet EPAL con aros Materiales <input type="text"/> Durabilidad <input type="text"/> Dimensiones { largo (mm) 1200, ancho (mm) 800, alto (mm) 540 Cantidad (uds) 75 Peso máximo (kg) 275 min - 300 max Mosaico { largo (uds) 5, ancho (uds) 3, N° alturas 5 <input checked="" type="checkbox"/> Fiejado <input type="checkbox"/> Retractilado o similar </div> <div style="width: 70%;"> <div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">FOTOS</div> <div style="display: flex;"> </div> <div style="margin-top: 10px;"> OBSERVACIONES El embalaje es propiedad de ThyssenKrupp y de uso exclusivo para lo indicado en este documento. El fiejado debe de ser perpendicular a la cota mayor del palet. </div> </div> </div>		
		VISADO PETICIONARIO Mario Rodríguez Fecha 09/09/2015

Figura 43. FCS (Ficha Condiciones de Suministro) (1)

ThyssenKrupp Elevator Manufacturing Spain		ThyssenKrupp
INGENIERIA DE PROCESOS Process Engineering		FICHA CONDICIONES DE SUMINISTRO EN GAVETA Nº300/1 PRODUCT REQUIREMENT SUPPLIER
		Rev. 01 (10/14) Página Page 1
INFORMACIÓN DE PRODUCTO PRODUCT INFO Código Code Descripción Description Peso Weight (kg)		INFORMACIÓN ADICIONAL DE IDENTIFICACIÓN OTHER LABEL <input type="checkbox"/> Etiquetado DATAMATRIX <input checked="" type="checkbox"/> Peso por caja DATAMATRIX label Weight box label
DATOS DE EMBALAJE <input checked="" type="checkbox"/> EMBALAJE PRIMARIO PRIMARY PACKAGING Tipo Type Materiales Materials Durabilidad Durability Dimensiones Dimensions Cantidad Amount (uds) Peso máximo Maximum weight (kg)		FOTOS Pictures Imagen representativa 
<input checked="" type="checkbox"/> EMBALAJE SECUNDARIO SECONDARY PACKAGING Tipo Type Materiales Materials Durabilidad Durability Dimensiones Dimensions Cantidad Amount (uds) Peso máximo Maximum weight (kg)		
OBSERVACIONES Notes Disponer piezas en el interior a granel, en condiciones de seguridad en transporte y manipulación Gaveta modelo Plastipol 300, propiedad de Thyssen y de uso exclusivo para lo indicado en este documento * Información indicada en listado referencia de códigos en gaveta nº 300/1		Fecha Date 04/08/2015

Figura 44. FCS (Ficha Condiciones de Suministro) (2)

El layout de la estantería supermercado queda de la manera siguiente:

	9	8	7	6	5	4	3	2
4	SOBRE STOCK	GAVETAS PUNTO RETORNO						CAJONES VACIOS
3	1013070401	TRINQUETE 1013072006	1013053602	POLEA 300 1013072701	PALANCA 1013020601	POLEA 200 1013072101	POLEA 200 1013072101	CAJONES LLENOS 1013085601/5701
	1013070402	TRINQUETE 1013054802	1013053701		CURVA 1013056191		1013050401	1013085101
	1013080901	101076101	1013052301					
2	1009509700	1013051501	1000112115	1013053801	1013072001	1013050301	1013080401	1013080401
	1013053603	1013051502	1013054101	1013053802	1013072002	1013085201	1013088501	1013080501
	1013053601		1013054102	1013053803	1013072003	1013088402	1013080403	1013088001
1	BANDEJAS SYNERGY ESPECIALES	CAJA/TAPA 1013059001	BOBINA 1013054003	CARRO SYNERGY	CARRO 3	CARRO 2	CARRO 1	1013050501
								Carro Poleas KANBAN
		1013072401		TRINQUETE 1013072101				Carro Conjunto LAT/BASE KANBAN

Figura 45. Layout Supermercado/Almacén material SG-N

Como se ve en la imagen, queda definido un área de estanterías dinámicas que duplica el borde de línea, y el resto de ubicaciones sirven de almacén que alimenta dichas estanterías y el material secuenciado.

A la hora de ubicar el material en el almacén es fundamental tener en cuenta las dimensiones y el peso de los materiales a ubicar. Por criterios de seguridad y, en ocasiones, por normativa, se ha de ubicar el material más pesado en los niveles inferiores.

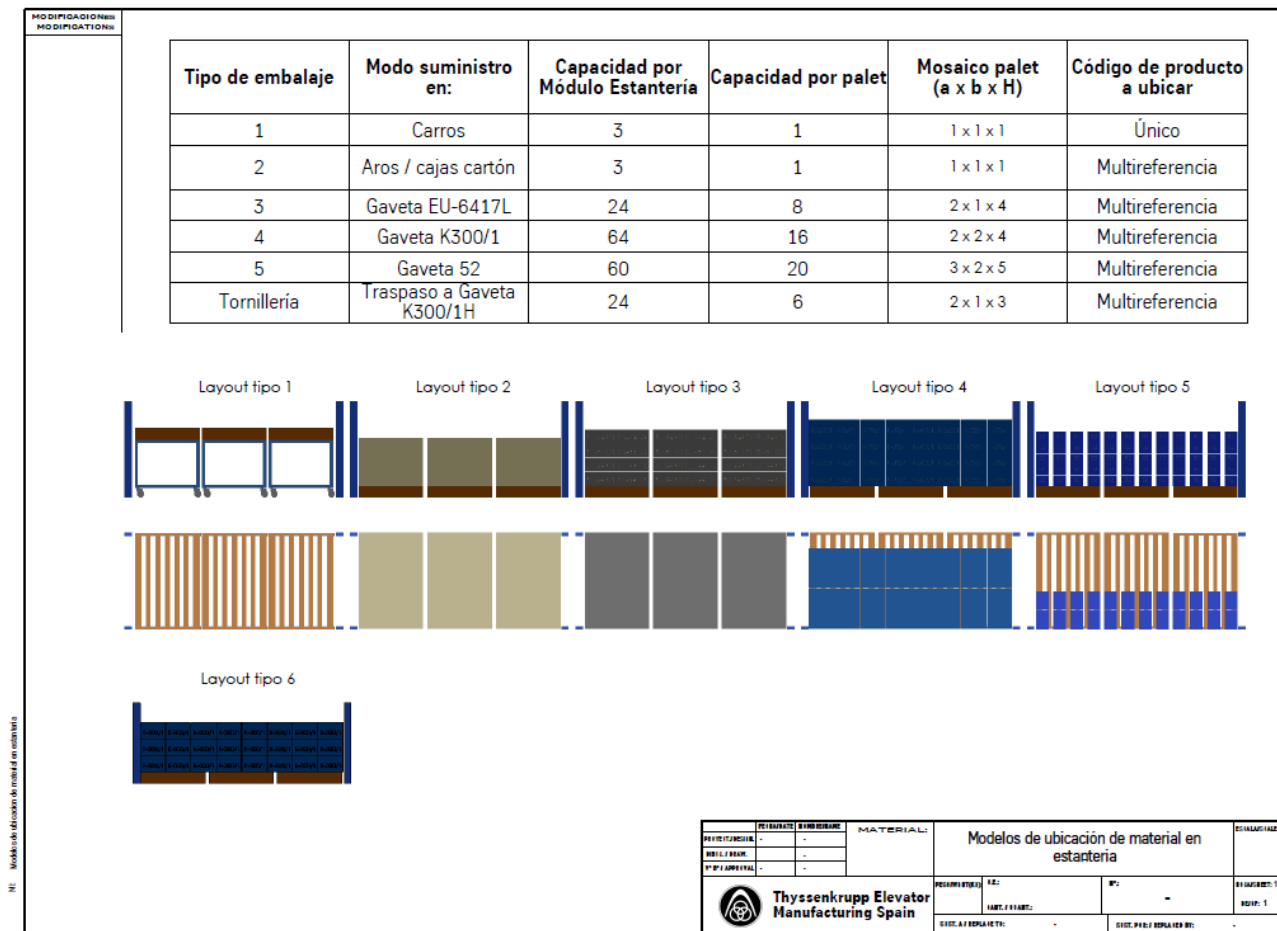


Figura 46. Modelos de ubicación de material en estantería

En nuestro caso, a primer nivel se encuentra material en gaveta ya que todo el material KANBAN se alimenta mediante tren logístico, por lo que el encargado de crear dicho flujo necesita tener el material ubicado a primer nivel para que la entrada y salida de gavetas sea accesible y ergonómico a la hora de realizar portes y elevaciones con carga.



Figura 47. Estanterías dinámicas área de supermercado Línea SG-N

5.5. CREACIÓN DE ESTÁNDAR. IT-IFAS

La creación del estándar es una de las tareas principales de un ingeniero de proceso. Definimos IT-IFA cómo la instrucción de fabricación técnica de un proceso productivo, es decir, la secuencia de operaciones que se debe seguir para fabricar un producto en sus diferentes etapas a lo largo de la línea de montaje.

La IT-IFA por lo tanto es el estándar de proceso definido de un producto. La responsabilidad de definir el estándar de proceso recae sobre el ingeniero de proceso, y el seguimiento y cumplimiento del mismo debe de ser exigido por el responsable de la línea.

Una IT-IFA debe contener los siguientes puntos:

- ¿Qué? Descripción de la operación a realizar
- ¿Cómo? Punto clave a tener en cuenta a la hora de realizar la operación.
- ¿Por qué? Comprender la importancia que tiene el modo en que se define cada operación a seguir.

A parte de estos puntos, que son la base de una instrucción de fabricación, hay que tener en cuenta que este tipo de documentos tienen que ser útiles, comprensibles y claros para el operario además de reflejar la responsabilidad de los participantes en la creación de dicho documento. Para ello completamos con los siguientes aspectos:

- Imágenes de cada operación para clarificar el modo de actuación.
- Utilización de símbolos para identificar de manera visual puntos clave de Seguridad, Calidad, Sostenibilidad y Proceso.
- Apartado de firmas con últimas revisiones, autor de realización y aprobación del documento.

Por último, cada etapa del proceso debe de estar medido, es decir, debe de aparecer reflejado el tiempo a emplear en cada operación.

El formato estándar que trabajamos en TKEMF es el siguiente:

IFA : 350.- Limitadores IT.IFA : 350.1 SGN Montaje en P1		Revisión: 01 Fecha: 09/15	Realizado: M. RODRIGUEZ Aprobado: R. PALOMINO
---	--	------------------------------	--

190	200	210	220	230	240
Tiempo establecido de la fase: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Tiempo establecido de la fase: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Tiempo establecido de la fase: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Tiempo establecido de la fase: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Tiempo establecido de la fase: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Tiempo establecido de la fase: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

SEGURIDAD	PROCESO	CALIDAD	MEDIO AMBIENTE	Inductores	Bobina	Micro	Precorte	Página 1 de 4
------------------	----------------	----------------	-----------------------	-------------------	---------------	--------------	-----------------	---------------

Figura 48. Formato estándar IT-IFA en TKEMF

A continuación se muestra ejemplo de la instrucción de fabricación del premontaje de los Limitadores de velocidad.

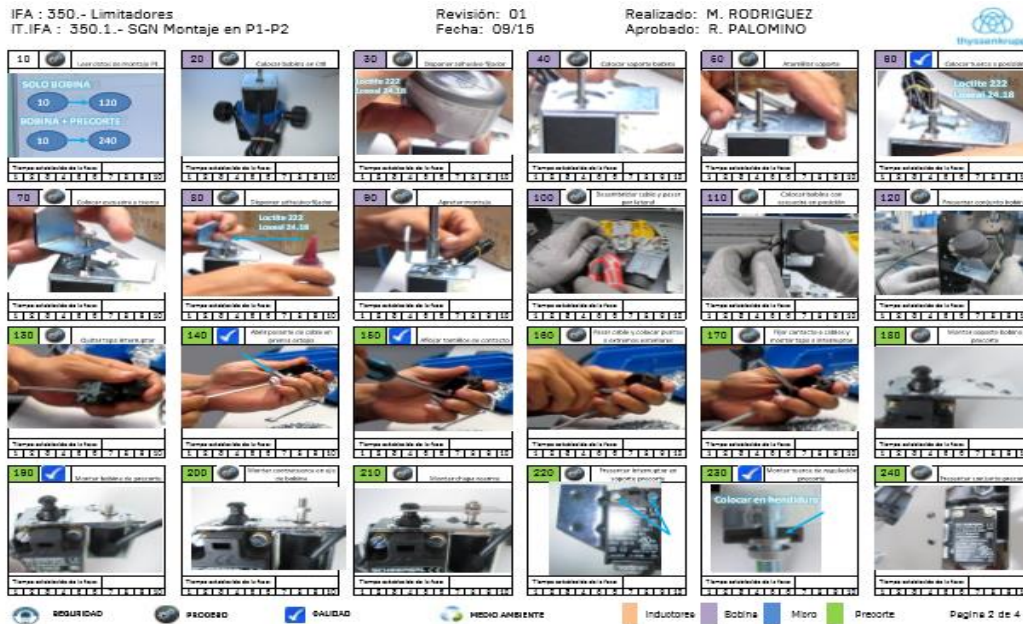


Figura 49. IT-IFA Premontaje SG-N TKEMF

Paralelamente estamos trabajando en una nueva plantilla estándar de proceso, dando un paso más en la definición de cada etapa, con el objetivo de plasmar cada fase con un nivel de detalle mayor que ayude a entender a los trabajadores mejor el proceso definido.

Línea	KM-15 HR	Symbols	Seguridad y Salud	Operación crítica	Tipo
Puesto	208.07.-Vigas superior e inferior CPSO		Calidad	Continuar como se muestra	A B C D
Tiempo					

Drawing/Layout
Paso 2

Simbolos	Nº Element	Paso de ensamblado (Qué)	Punto clave (Cómo)	Razón (Por qué)
▽	1	Coger el conj. De poleas correspondiente a la orden. Asegurarse de que es la ejecución correcta.	Asegurarse de que es la ejecución correcta del conj. De poleas	
○	2	Colocar conjunto de poleas sobre el Util como en la imagen	Colocar conj. De poleas sobre el útil	

KPI		Aprobación		Cualificaciones	
Calzado de Seguridad	X	Ingeniero			
Gafas de Seguridad	X	Fecha + Firma			
Güantes	X	Turno A	Jefe de Equipo	Responsable de producción	
Tapones		Turno B	MIGUEL PIGAZO	ALBERTO VICENTE	
Manguitos		Turno C			

Figura 50. Nuevo formato estándar IT-IFA TKEMF

5.5.1. HOJA DE RUTA OPERADOR LOGÍSTICO. LO-IFA

Con el propósito de controlar y estandarizar los movimientos del carretillero, de forma semejante a los operarios, se crea la hoja de ruta específica para este puesto. Esta secuencia de trabajo se asemeja a la instrucción de fabricación de un operario de línea, siendo:



Figura 51. LO-IFA Tren Logístico

5.6. CRONOMETRAJE. BALANCEO DE LÍNEA

5.6.1. INTRODUCCIÓN

A la hora de trabajar en línea, es fundamental tener balanceados los puestos de trabajo y definir qué operaciones se van a realizar antes y después a lo largo de nuestro proceso. Para llegar a optimizar una línea y obtener una capacidad productiva óptima es necesario que cada etapa o puesto de la línea esté balanceado y no existan gaps de tiempo entre una estación y otra.

La medición del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador cualificado en llevar a cabo una tarea según una norma de tiempo establecida.

La medición del tiempo nos permite:

- Planificar la producción y en consecuencia dimensionar los recursos necesarios y cumplir plazos de entrega.
- Descubrir y evaluar los tiempos improductivos.
- Determinar costes de mano de obra y de las máquinas relacionadas con el proceso de fabricación de determinada referencia y adjudicar proporcionalmente el resto de costes del taller asociados.
- Fijar normas de rendimiento y establecer sistemas de incentivos.

Para calcular el tiempo ciclo de un proceso se parte del concepto de tiempo tipo. La suma del tiempo total de los tiempos de los elementos que constituyen una operación manual nos da el tiempo tipo de esa operación.

La realidad es que los operarios se cansan y tienen necesidades fisiológicas durante su jornada laboral, por lo que hay que aumentar los tiempos normales (básicos) para cubrir estos aspectos, es decir, al tiempo básico hay que añadirles ciertos suplementos. Estos suplementos viene recogido en el coeficiente de fatiga.

A la suma de los tiempos básicos más los suplementos se le denomina tiempo tipo o de ciclo de trabajo.

Además del tiempo de ciclo de trabajo existen:

- Tiempo Máquina en Marcha (MM): Son las operaciones que realiza el operario cuando la máquina está trabajando en automático. Este elemento no modifica el ciclo de trabajo.
- Tiempo Máquina Parada (MP): Son las operaciones que realiza el operario cuando está la máquina parada. Estos elementos forman parte del ciclo de trabajo.
- Tiempo Máquina (TM): Operaciones que realiza la máquina durante su ciclo automático.

5.6.2. CRONOMETRAJE

El cálculo de tiempos de trabajo por medio del cronómetro es el más utilizado en las industrias.

Trabajaremos con la escala centesimal, que utiliza el 100 para valorar la actividad normal y 133 para la actividad óptima.

La actividad, o valoración del ritmo es el procedimiento mediante el cual el analista compara la actuación del operario que está observando, con el concepto que tiene formado de actuación normal de un operario medio, es decir, la deduce el cronometrador al observar la marcha que lleva el operario, al compararla con la que llevaría un trabajador cualificado que llevase el ritmo tipo.

Antes de realizar el cronometraje, el analista debe de observar la tarea, estudiarla, sugerir el método mejorado e implementarlo directa o indirectamente a través de los mandos correspondientes.

En el cronometraje es preciso calcular los factores siguientes:

- Tr Tiempo medido con el cronómetro
- V Actividad
- TN Tiempo normal
- K Suplementos.

A partir de estos conceptos creamos la plantilla de trabajo para realizar los cronometrajes, que es la siguiente:

**ThyssenKrupp Elevator
Manufacturing Spain**



HOJA DE CÁLCULO DE RECOGIDA DE DATOS												PAG.					
Fecha inicio de cron.		Est. 1-100 Documentación de proyectos/Limitadores/Step_4_Balaneo/Toma de datos/ESTÁNDAR (MTH TIPO 1.1x) (MTH Regulación															
Fecha final de cron.		Método: Actual															
Descripción		Limitador SGN										IFA:					
Código(s)		S/N PRECOI										350.3					
Anticipo		MONTAJE SGN PUESTO 3															
Módulo(s)		Velocidad										Avis					
Módulo(s)		GFH										551					
Módulo(s)		Realizado										Mario Rodriguez					
ELEMENTO O PASE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CTM	Tb	f	Cr	PMP	PMM
Leer datos de montaje	V	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-C-	3,00	1,00	1,11	3,330	
	Tr	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3						
Coger eje	V	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		10,40	1,00	1,11	11,544	
	Tr	11	11	11	12	9	10	7	12	10	11						
Montar arandela clip en eje	V	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		5,50	1,00	1,11	6,105	
	Tr	8	4	5	5	7	8	5	8	5	8						
Coger lateral base y montar sobre el eje	V	100	100	80	85	80	90	100	100	100	100		13,82	1,00	1,11	15,340	
	Tr	13	12	22	20	17	17	18	13	10	10						
Colocar lateral en útil	V	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		8,00	1,00	1,11	8,880	
	Tr	8	8	8	10	8	7	9	9	7	7						
Montar arandela 2un	V	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		6,00	1,00	1,11	6,660	
	Tr	8	8	8	10	8	7	9	9	7	7						

Figura 52. Ejemplo de formato estándar Cronometraje

Como vemos en esta plantilla, el estándar queda definido para una toma de tiempos de 10 unidades fabricadas, en dónde se tiene en cuenta todos los tiempos tanto de operación cómo de máquina, tabulados sobre el coeficiente de fatiga, y un parámetro frecuencia "f" cuyo fin es llevar el tiempo a la unidad fabricada.

Para el cálculo de resultados, utilizamos las siguientes fórmulas:

$P_r = PMP + PMM$	$P_n = 3600 : C_n$
$C_n = CTM + PMP$	$P_o = 3600 : C_o$
$C_o = CTM + 0,75PMP$	Saturación = $P_r : C_o$
Puntos = $C_o + 0,25 P_r$	T. Asignado (min. de C_n)
	T. Asignado (min. de C_o)
TM= TIEMPO MÁQUINA	P_n = PRODUCCIÓN NORMAL (PIEZAS HORA)
MP-MM= TIEMPO OPERARIO (MÁQUINA PARADA-MÁQUINA EN MARCHA)	P_o = PRODUCCIÓN ÓPTIMA (PIEZAS HORA)
P_r = TIEMPO TRABAJO MANUAL (Operario) DURANTE UN CICLO DE TRABAJO	SATURACIÓN= TRABAJO DEL OPERARIO DURANTE EL C_o (max133%)
C_n - C_o = CICLO NORMAL - CICLO ÓPTIMO	T.ASIGNADO=TIEMPO ASIGNADO AL 100 DE ACTIVIDAD

Esta herramienta es fundamental para identificar cuellos de botella, ineficiencias de proceso y capacidad máxima exigible en función de la configuración que haya definida para la línea.

Como hemos visto anteriormente, la IT-IFA describe las operaciones a seguir de un proceso, y éste debe de estar medido. La IT-IFA es muy útil, en caso de que el proceso ya esté definido y segregado en operaciones, para la realización de un cronometraje. En nuestro caso, como partimos desde este punto, se realizó de la siguiente forma:

En primer lugar diferenciamos dentro de nuestra gama de producto 2 modelos, SG-N Tipo 1, que se caracteriza por no llevar señal de precorte eléctrico, y el SG-N Tipo 2, que si lo lleva. Con esto se definió como estándar nuestro Mix de producto de la línea.

La toma de tiempos se realizó para ambos modelos, pasando por las siguientes etapas:

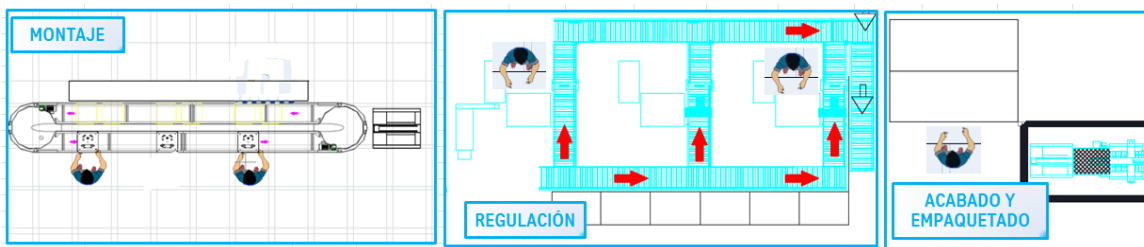


Figura 53. Layout Línea SG-N

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

SG-N Tipo 1

Código	Cálculo	Conf.	Montaje min/UN	Regulación min/UN	Acabado y Expedición min/UN	Lead Time total	Capacidad Montaje uds/turno	Capacidad Regulación uds/turno	Capacidad Acabado uds/turno	Capacidad de fabricación	Nº Operarios
S/N PRECORTE	MTM	A	11,44	15,01	7,00	33,45	40,00	32,00	64,00	32,00	2,5
S/N PRECORTE	MTM	B	5,72	7,51	7,00	20,23	80,00	64,00	64,00	64,00	5

Tabla 9. Resultados Cronometraje SG-N Tipo 1

Se obtiene un lead time de producto de 34 min con configuración de 2.5 operarios de MOD, con una capacidad productiva de 32 unidades por máquina. Para una configuración de 5 operarios de MOD, obtenemos un lead time de 21 min con una reducción del 50% del tiempo tanto en montaje como en regulación, ya que trabajas en paralelo a dos máquinas, obteniendo una capacidad máxima de 64 unidades/turno.

SG-N Tipo 2

Código	Cálculo	Conf.	Montaje min/UN	Regulación min/UN	Acabado y Expedición min/UN	Lead Time total	Capacidad Montaje uds/turno	Capacidad Regulación uds/turno	Capacidad Acabado uds/turno	Capacidad de fabricación	Nº Operarios
CON PRECORTE	MTM	A	13,00	21,00	8,00	42,00	36,00	22,00	54,00	22,00	2,5
CON PRECORTE	MTM	B	6,50	10,50	8,00	25,00	72,00	44,00	54,00	44,00	5

Tabla 10. Resultados Cronometraje SG-N Tipo 2

En este caso, el montaje se ve ligeramente afectado por una subida de tiempos provocado por añadir al Limitador más conjuntos de premontaje, sin embargo dónde es significativo es en el puesto de regulación, aumentando más de un 30% del tiempo por Limitador regulado.

Para ambos modelos, nuestro cuello de botella es la regulación del Limitador, por lo tanto para realizar un balanceo de línea óptimo debes balancear los diferentes puestos a partir del tiempo crítico.

Por lo tanto, en función de nuestro Mix de producto, y de las diferentes configuraciones la capacidad de la línea quedó de la siguiente forma:

Análisis de resultados y corrección de tiempos a cuello de botella:

Código	Cálculo	Conf.		Montaje min/UN	Regulación min/UN	Acabado y Expedición min/UN	Lead Time total	Capacidad Montaje uds/turno	Capacidad Regulación uds/turno	Capacidad Acabado uds/turno	Capacidad de fabricación	Nº Operarios
S/N PRECORTE	MTM	A		11,44	15,01	7,00	33,45	40,00	32,00	64,00	32,00	2,5
S/N PRECORTE	MTM	B		5,72	7,51	7,00	20,23	80,00	64,00	64,00	64,00	5
S/N PRECORTE	CORRECCIÓN C. BOTELLA	A		15,01	15,01	7,00	37,02	32,00	32,00	32,00	32,00	2,5
S/N PRECORTE	CORRECCIÓN C. BOTELLA	B		7,51	7,51	7,00	22,02	64,00	64,00	64,00	64,00	5,0
CON PRECORTE	MTM	A		13,00	21,00	8,00	42,00	36,00	22,00	54,00	22,00	2,5
CON PRECORTE	MTM	B		6,50	10,50	8,00	25,00	72,00	44,00	54,00	44,00	5
CON PRECORTE	CORRECCIÓN C. BOTELLA	A		21,00	21,00	10,50	52,50	22,00	22,00	22,00	22,00	2,5
CON PRECORTE	CORRECCIÓN C. BOTELLA	B		10,50	10,50	10,50	31,50	45,00	44,00	45,00	44,00	5,0

Tabla 11. Balanceo de tiempos. Corrección a cuello de botella

Configuración definida para la línea acorde a los nuevos tiempos:

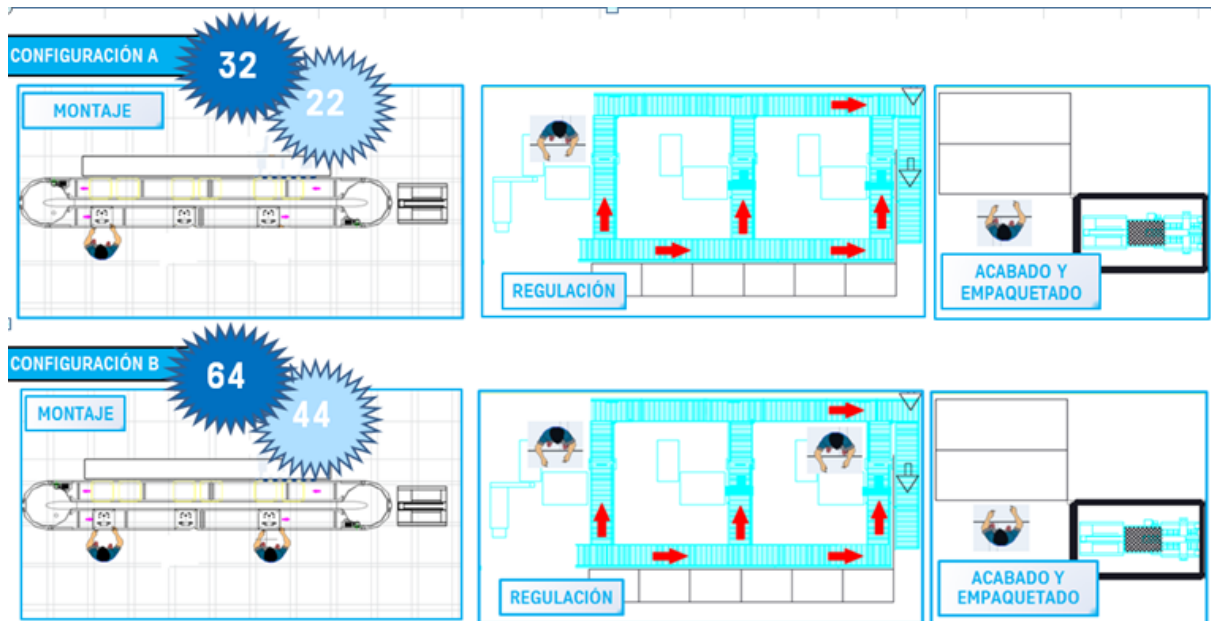


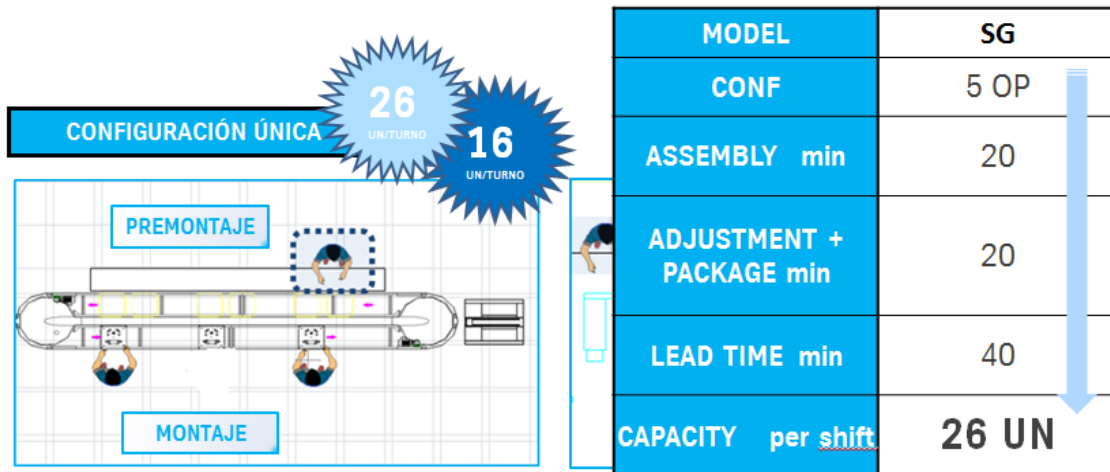
Figura 54. Configuración de trabajo con nuevas capacidades máquina

Tras el análisis de los resultados, y teniendo en cuenta el % de mix de producto entre Tipo 1 Y Tipo 2, se estableció junto con los trabajadores una productividad turno exigible de 30 unidades/máquina.

5.6.3. COMPARATIVA BEFORE-AFTER

Cómo definimos al principio del proyecto, uno de nuestros objetivos era incrementar la capacidad productiva de la línea en un 10 %.

BEFORE



AFTER

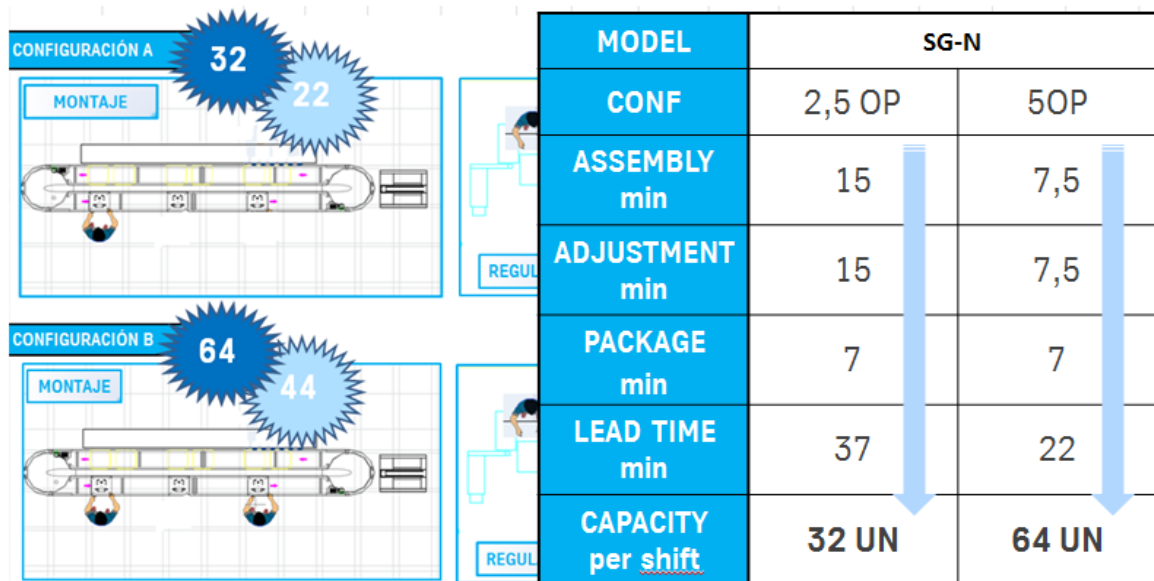


Figura 55. Comparativa de tiempos Before vs After

Se obtiene una mejora en la capacidad del 20 %.

5.7. SPAGUETTI CHART

El spaghetti chart es un diagrama sencillo que muestra en planta cuales son los movimientos de los trabajadores dentro de un puesto de trabajo. Con esta herramienta se pueden reducir los tiempos de no valor añadido dentro de un proceso optimizando los movimientos.

La situación inicial de la que partimos era la siguiente:

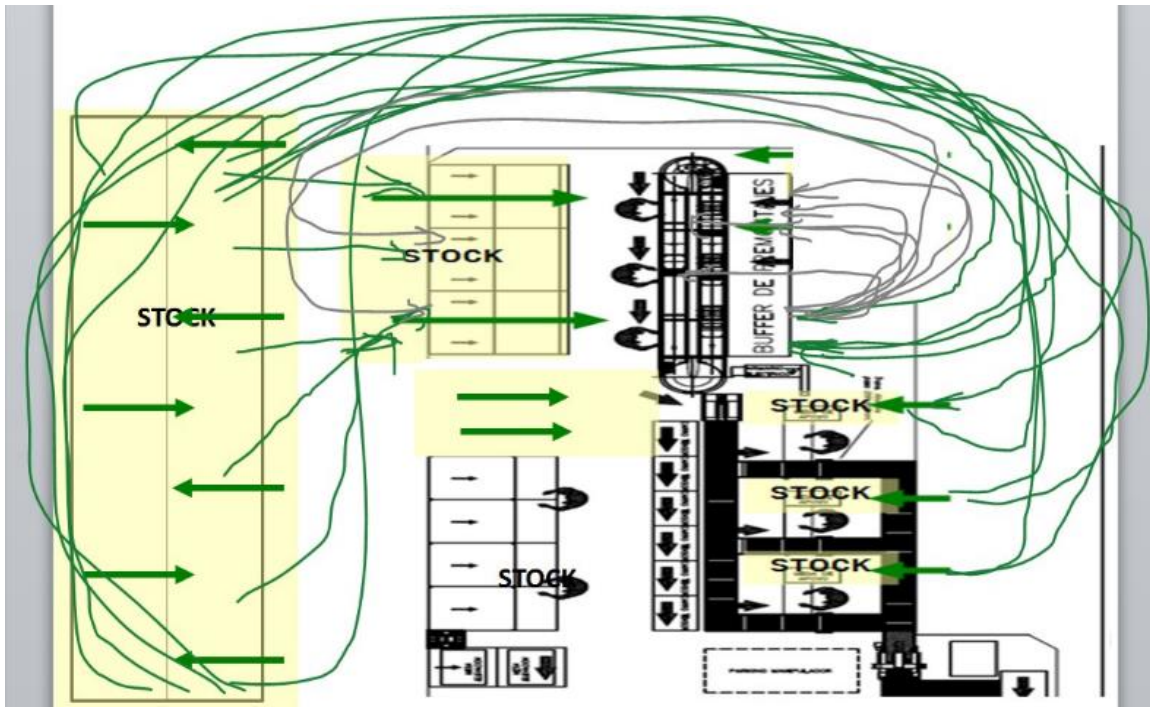


Figura 56. Spaghetti Chart inicial Línea SG-N

Tal y cómo se mostraba en la matriz de pérdidas, el coste de NVAA ascendía a más de 20.000 € al mes. Gráficamente representado, esa cifra se entiende viendo el diagrama de movimientos de la línea, más concretamente derivados del puesto de premontaje.

Con la modificación en línea, se absorbe el premontaje dentro del puesto de montaje. El diagrama de recorridos queda de la siguiente forma:

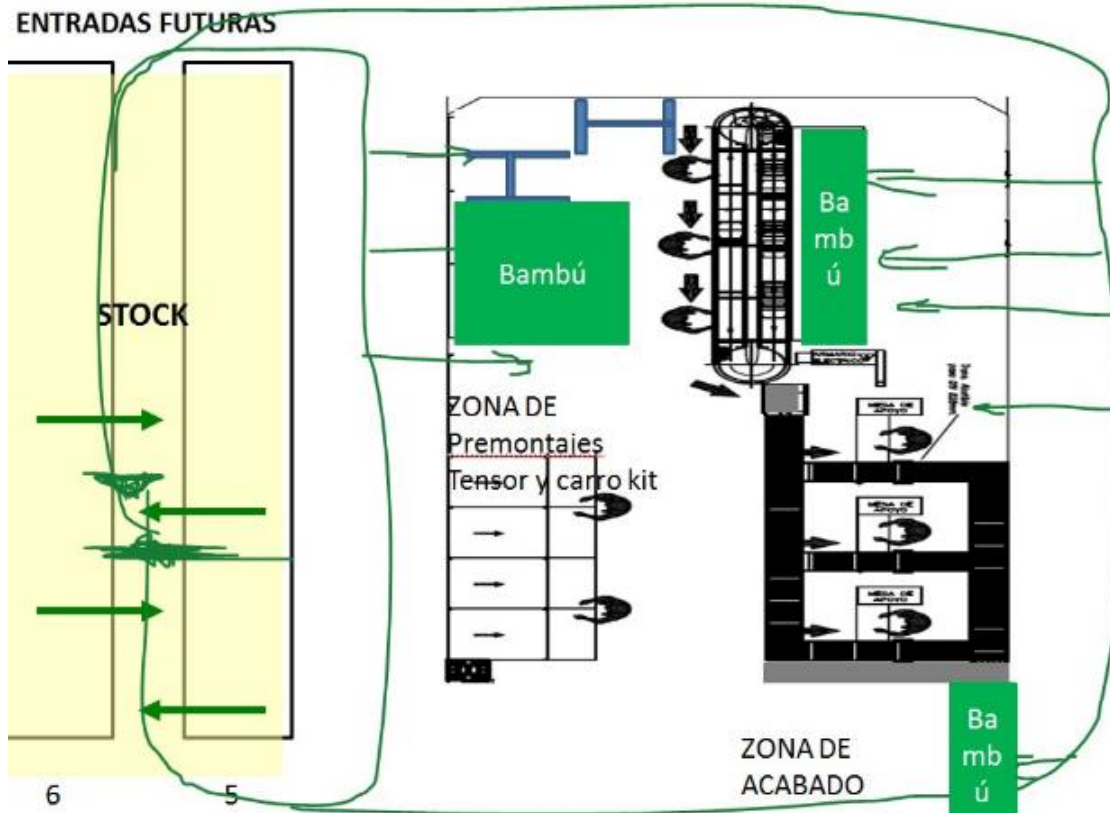


Figura 57. Spaguetti Chart futuro Línea SG-N

Tras la modificación, se analiza el ahorro derivado de eliminar el puesto de premontaje y se obtiene la siguiente tabla.

BEFORE	AFTER
100m/SG-N	20m/SG-N

Tabla 12. Comparativa before vs after de m/SG-N

Se estima que se reducen los desplazamientos en línea en torno a un 80%. Realizándose una media de 10.0000 Limitadores al año, el resultado muestra que, en un año se ha reducido el recorrido del operario en la línea en cerca de 800 Kilómetros, o lo que es lo mismo, la distancia entre Madrid y Toulouse en coche.

Se partía de una estimación entorno a un 75% de tiempo de NVAA en línea. A partir de la mejora se analizó de nuevo, y se obtuvieron los siguientes datos:

TIPO 1 Estandar				
	Tiempo proceso	Tiempo VAA	% Tiempo VAA	% Tiempo NVAA
Montaje Puesto 1	84	29	34,52380952	65,47619048
Montaje Conjunto bobina	92	48	52,17391304	47,82608696
Montaje Puesto 2	96	46	47,91666667	52,08333333
Montaje Puesto 3	152	78	51,31578947	48,68421053
Regulación	849	512	60,30624264	39,69375736
Puesto Acabado	276	96	34,7826087	65,2173913
		Media:	46,83650501	53,16349499

Tabla 13. Estudio NVAA SG-N

Por tanto, se obtuvo una mejora de casi un 20 % en lo que a movimientos que no aportan valor al producto se refiere.

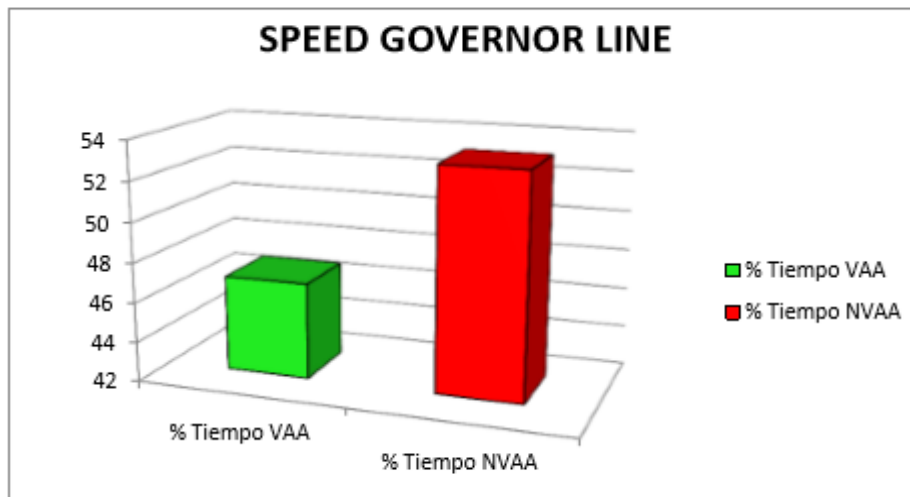


Gráfico 4. VAA vs NVAA SG-N



KAIZEN

6. KAIZEN

6.1. VSM-VSD

Value Stream Mapping (VSM) and Desing (VSD) son herramientas de estandarización que mediante el uso de símbolos describen las distintas interacciones del proceso. Se utilizan para mapear el flujo de material e información con el objetivo de definir una visión global del estado de la planta para identificar que o cuales son los aspectos a lo largo de la cadena de suministro/proceso que no funcionan correctamente.

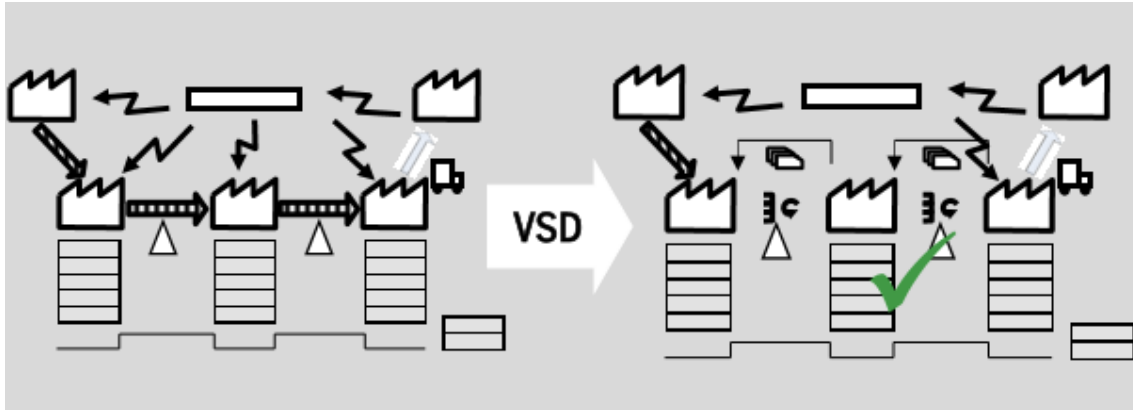


Figura 58. Concepto VSM (1)

La diferencia entre VSM y VSD es que el VSM muestra la situación actual de tu proceso, y el VSD muestra cuál quieres que sea el estado del proceso en el futuro próximo, es decir, una visión del plan a seguir en la que quedan reflejados los puntos a mejorar. El impacto principalmente que tiene el VSD es la minimización de los inventarios por medio de la reducción de almacenes y por tanto la reducción del Lead Time del producto.

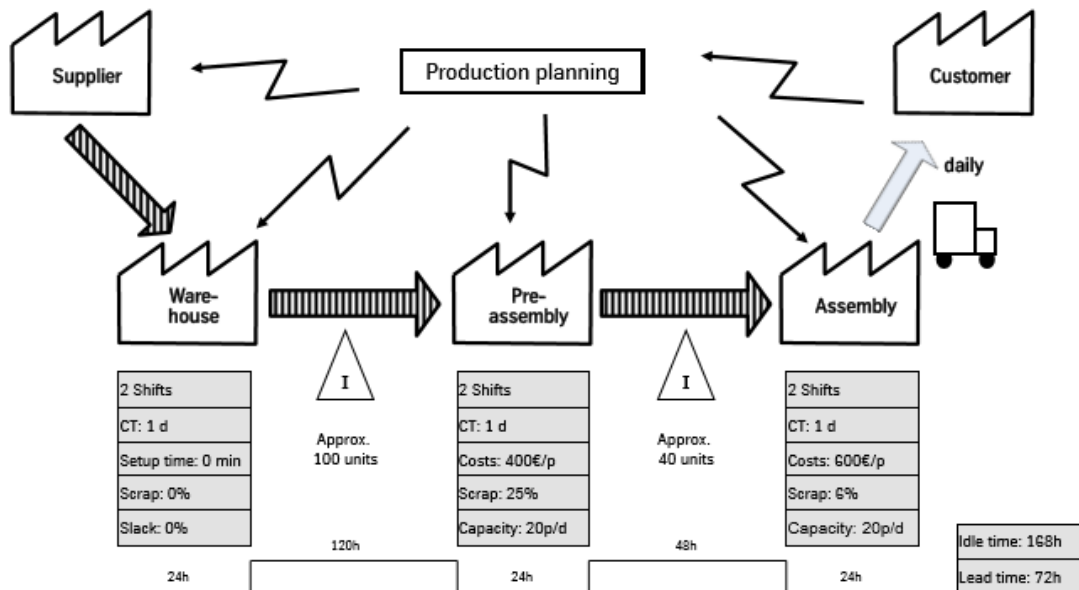


Figura 59. Concepto VSM (2)

El VSM obtenido para la línea de Limitadores es el siguiente:

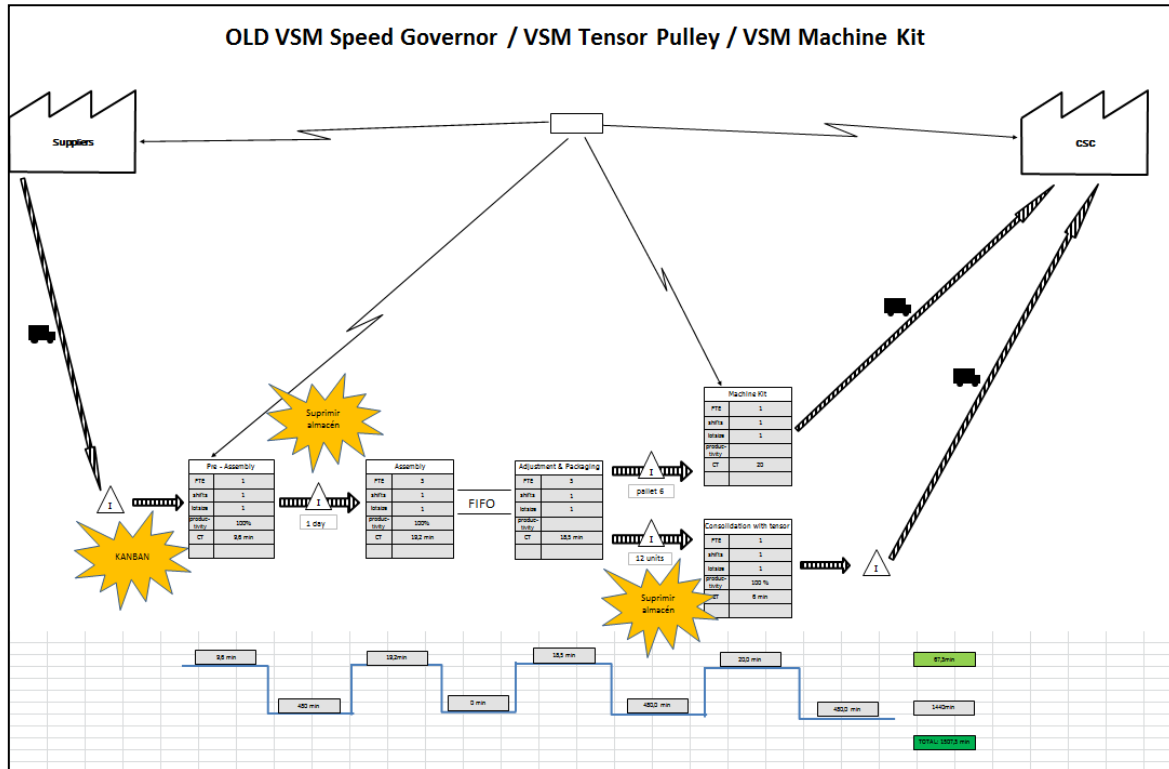


Figura 60. VSM Línea SG-N

El VSM muestra la situación inicial de la que parte la línea. Todo el material viene directamente de proveedor externo y va directamente a un almacén intermedio (Estantería). El flujo de material sigue pasando por el puesto de premontaje a montaje con un almacén intermedio de aproximadamente 1 día. Del Montaje, ya si con sistema FIFO, se lanza el producto a la regulación más acabado.

Una vez tenemos el producto terminado, se diferencia dos clientes, uno es el acopio con el Kit de máquina, cuyo almacén intermedio consta de 1 día, y el otro clientes es la consolidación con el Kit Tensor/Limitador, también con 1 día de almacén intermedio hasta que llega a cliente final.

El objetivo que nos marcamos en el VSM es eliminar el puesto de premontaje, convertir en KANBAN el almacén previo al puesto de Montaje, e implantar FIFO en la consolidación del Kit Tensor/Limitador.

Obtenemos un Lead Time del producto con el VSM de 25 horas/un.

Con las mejoras propuestas en el VSM se realiza el VSD.

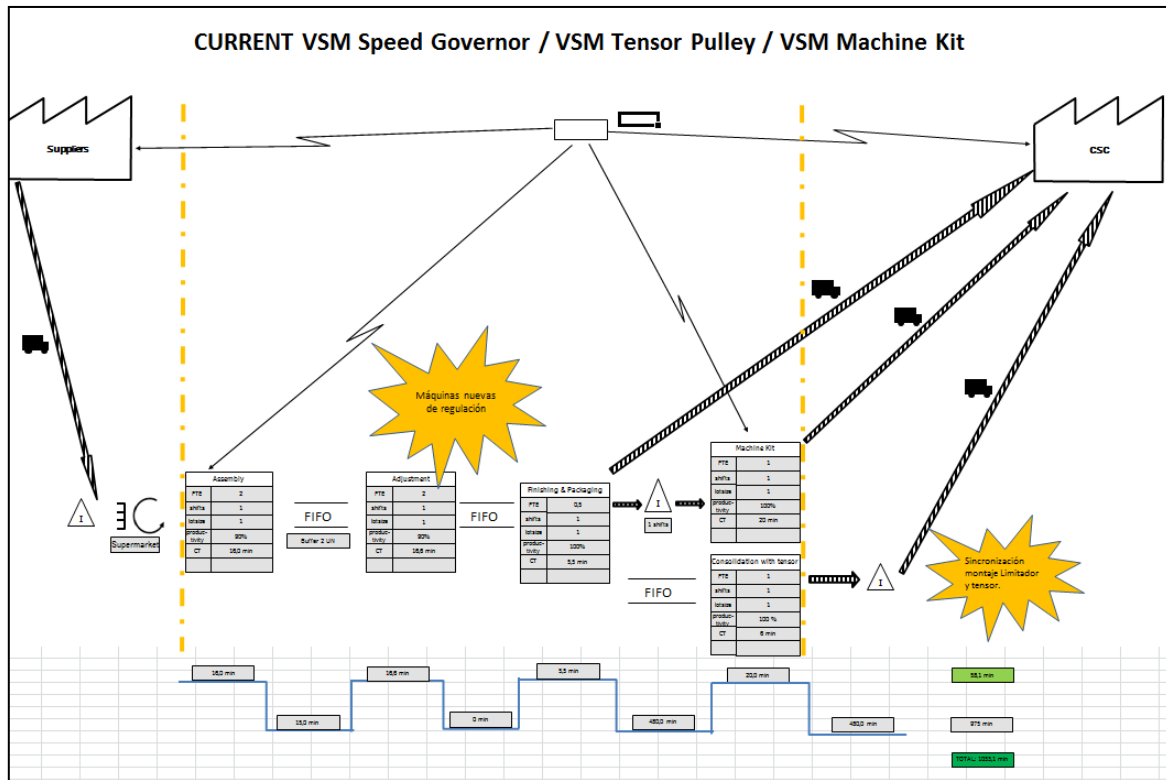


Figura 61. VSC (Current Value Stream mapping) Línea SG-N

Se elimina el almacén previo a premontaje con un supermercado que trabaja a Kanban, se balancea tanto el puesto de montaje como el de la regulación, y se crea el puesto de acabado, creando FIFO a lo largo de todos los puestos de la línea. Con la implantación del FIFO, conseguimos eliminar el almacén intermedio entre producto terminado y consolidación con el Kit Limitador/Tensor.

Obtenemos un Lead Time de 17 horas/un, es decir obtenemos una reducción del 30% en el ciclo del producto.

Cómo todo proceso de mejora continua, es cierto que el VSD siempre es una vista a futuro de lo que tenemos en la actualidad, sin embargo, a medida que se van desarrollando las mejoras, el VSD pasa a ser el VSM. Es un proceso cíclico.

El siguiente objetivo que nos marcamos es eliminar el almacén intermedio entre cliente final y puesto de consolidación de Kit Tensor/Limitador.

Para ello, se cambian los criterios de planificación. La entrega pasa a ser diaria en lugar de semanal. Esto nos obliga a que la planificación venga priorizada por cliente y se fabrique siguiendo esos nuevos criterios de entrega, lo que supone una eliminación de stock y almacén intermedio de producto acabado, ya que según se hace la consolidación se expide a centro logístico.

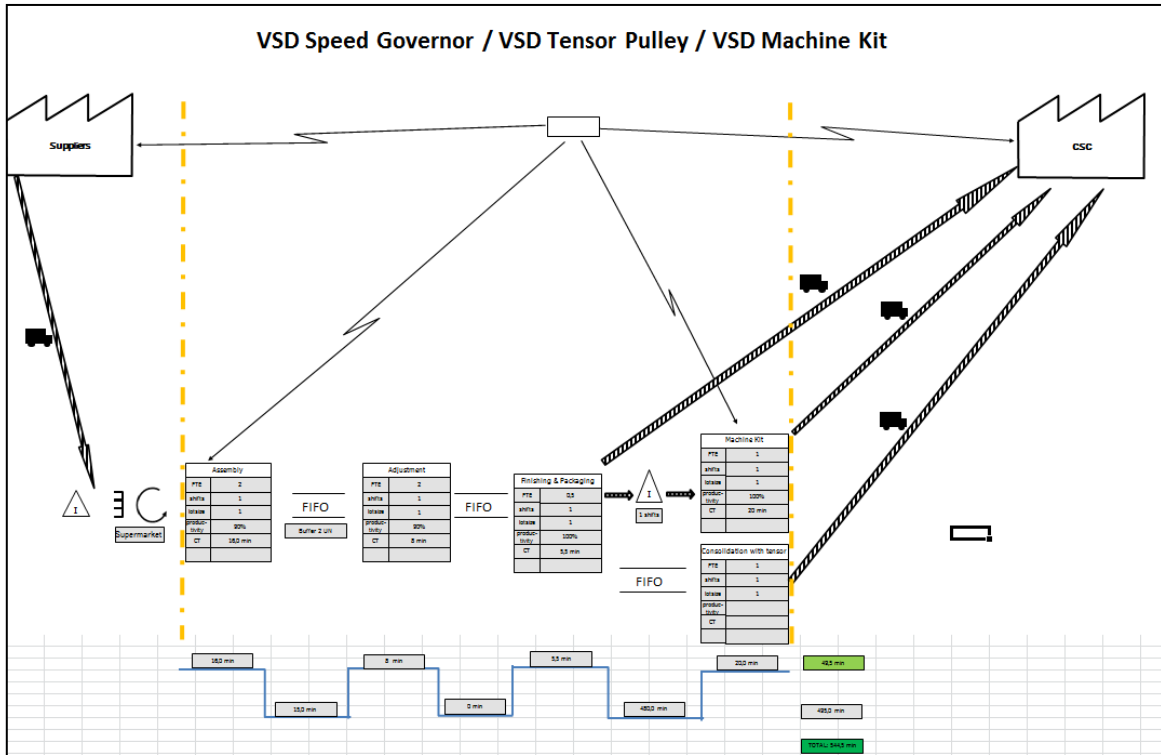


Figura 62. VSD Línea SG-N

Con el cambio en los criterios de entrega, el VSD queda según podemos ver en la figura .

Se obtiene así un Lead Time de 8 horas/un. Esto supone una mejora del 50% con respecto a la situación anterior.

Además de la reducción del lead time del Limitador, en este proceso se han mejorado en los siguientes aspectos.

- Menor manipulación de los materiales y mayor agilidad ante PNC'S (Parte de no conformidad de una pieza) al gestionarse íntegramente en fábrica.
- Eliminación de un almacén intermedio y mayor reducción del material en fábrica.

6.2. SQDC

El SQDC es un estándar/método de gestión de planta cuyo impacto es la resolución de problemas y el seguimiento de KPI's de una línea de producción.

La base de esta herramienta pasa por fomentar la comunicación interdepartamental con el fin de hacer partícipes a todos los responsables de cada departamento para perseguir un fin en común: la mejora continua de la línea.

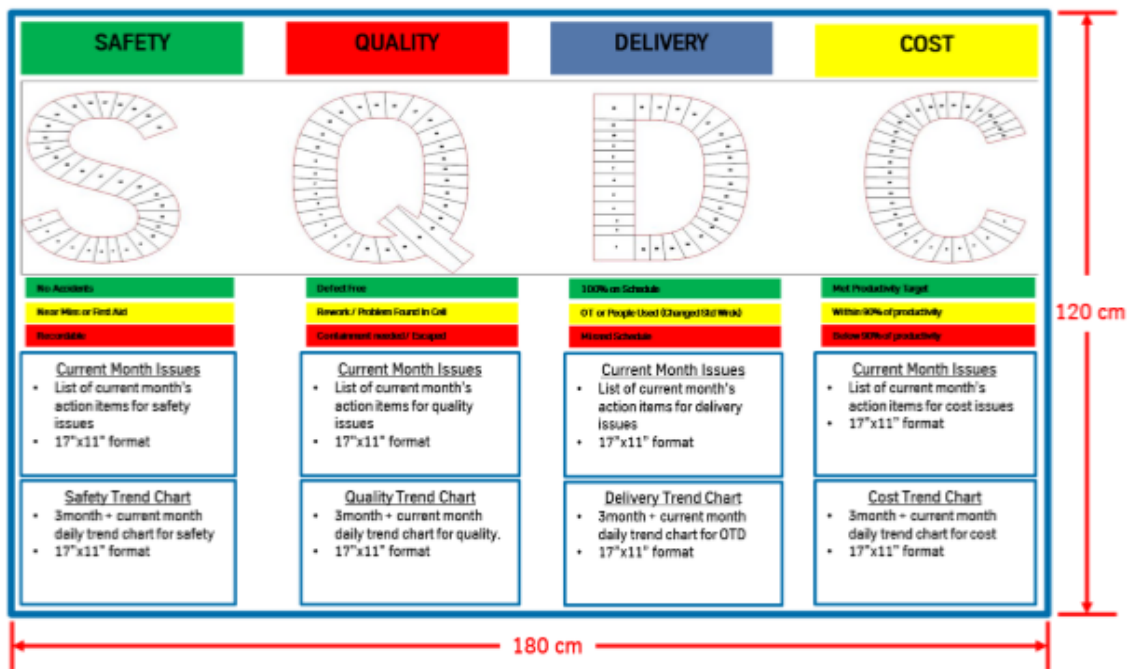


Figura 63. Formato estándar Panel SQDC TKEMF

Esta herramienta consta de una pizarra de gestión visual en la que se analizan 4 KPI's: Seguridad, Calidad, Entrega, Coste.

El SQDC es una reunión interdepartamental, a pie de línea que se caracteriza por:

- DURACIÓN: 10-15 min
- PERIODICIDAD: Diariamente.
- PARTICIPANTES: Responsable de Línea, Jefe de equipo, Responsables de Proceso, Calidad, Seguridad y Planificación, Responsable de Production System (Lean Expert).
- CONTENIDO: Discusión de las ineficiencias en la línea, apertura seguimiento y cierre de planes de acción, tendencia diaria/mensual del estado de los KPI's.

En la reunión del SQDC, pasando por cada letra del KPI

- Discutir de forma interdepartamental los problemas en línea, definir acciones y seguimiento de las mismas.
- Colorear los días de cada letra en verde, amarillo, rojo en función de los baremos establecido para KPI.

- Día amarillo/rojo: Desviación provoca no llegar a objetivo marcado. Es necesario abrir un plan de acción.

- Un mes completo en verde: Necesidad de redefinir la exigencia en cuanto a objetivos marcados en cada KPI.

- En función a la complejidad del plan de acción abierto, existen tres estándares para llegar a la causa raíz:

- JDI ("Just Do It")

- PPS ("Practical Problem Solving"). Desviación con causa raíz desconocida.

- A3: Orientado a la mejora del estado actual del KPI.

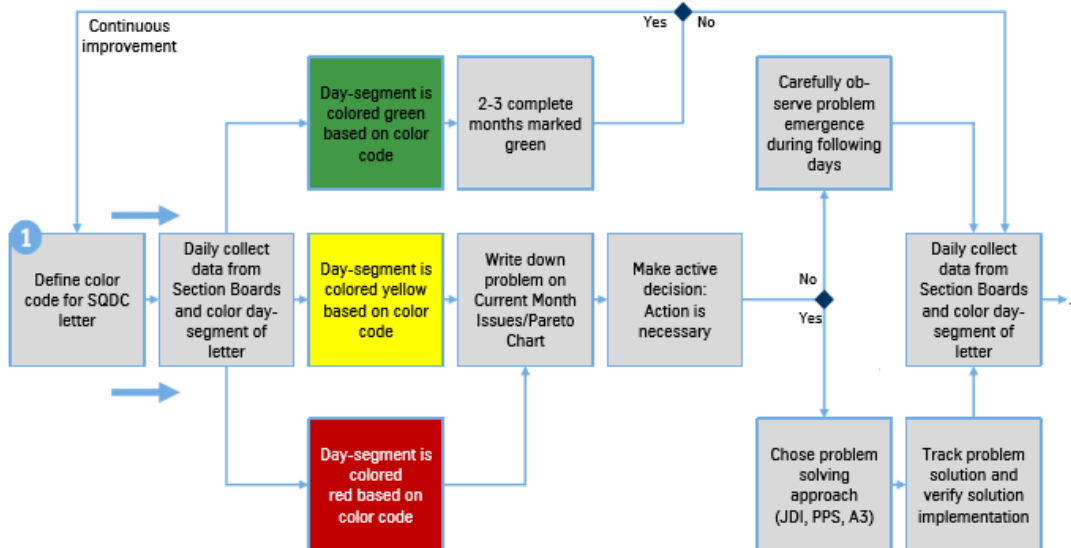


Figura 64. Flujo de proceso SQDC

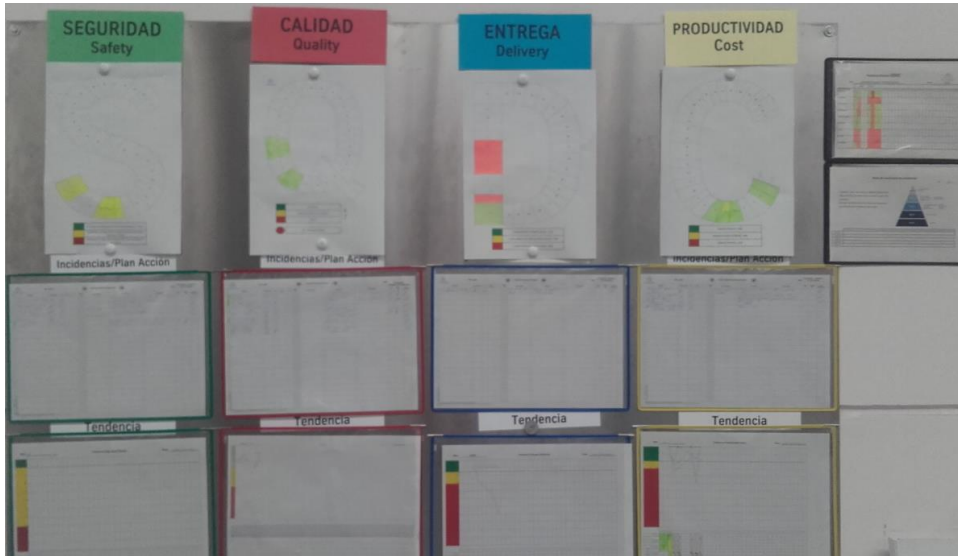


Figura 65. Panel SQDC Área de componentes

6.3. MATRIZ DE POLIVALENCIA

La matriz de polivalencia de los trabajadores es una herramienta práctica que permite conocer el estado de formación de los mismos con el objetivo de realizar un layout por el jefe de línea lo más homogéneo en cuanto a polivalencia. El objetivo es obtener el mayor número de trabajadores formados en los diferentes puestos de la fábrica. Este hecho supone un inconveniente, la formación se tiene en cuenta en la matriz de pérdidas, es decir un aumento de la formación puede ocasionar mayores costes en la línea de producción. El equilibrio entre polivalencia y gastos por formación debe ser tenido en cuenta.

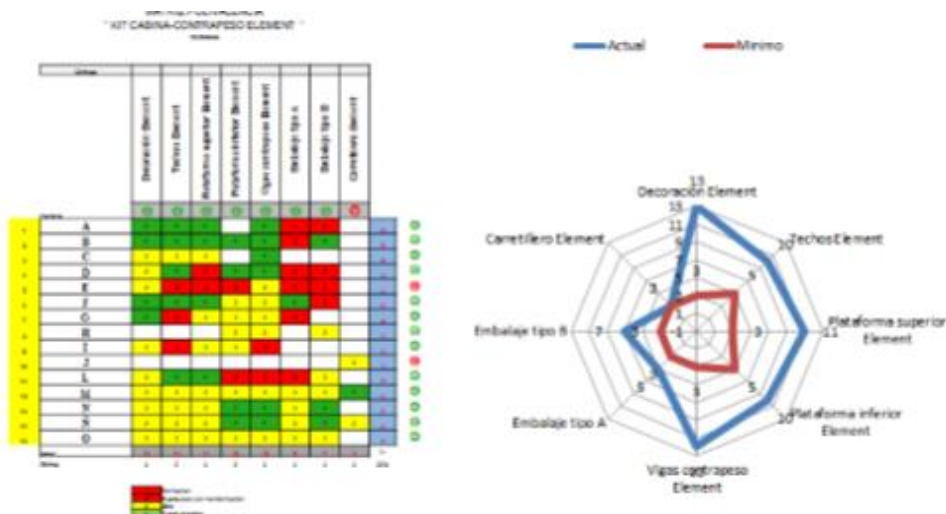


Figura 66. Matriz de polivalencia Área de componentes en TKEMF

6.4. ESTUDIO ERGONÓMICO

Durante la realización de las evaluaciones de seguridad quincenales que se llevan a cabo en las líneas de fabricación se ha denunciado que en el proceso de acabado se dan elevados movimientos repetitivos de elevación de cargas, superiores al máximo exigido.

Tras llevar al Panel SQDC la acción a estudiar, se decide realizar un estudio ergonómico del puesto. Para ello utilizamos una herramienta que denominamos Muri. Esta herramienta permite, de manera visual, evaluar en función a una plantilla de restricciones, qué nivel de ergonomía tenemos en cada puesto de trabajo, y en cada operación de montaje.

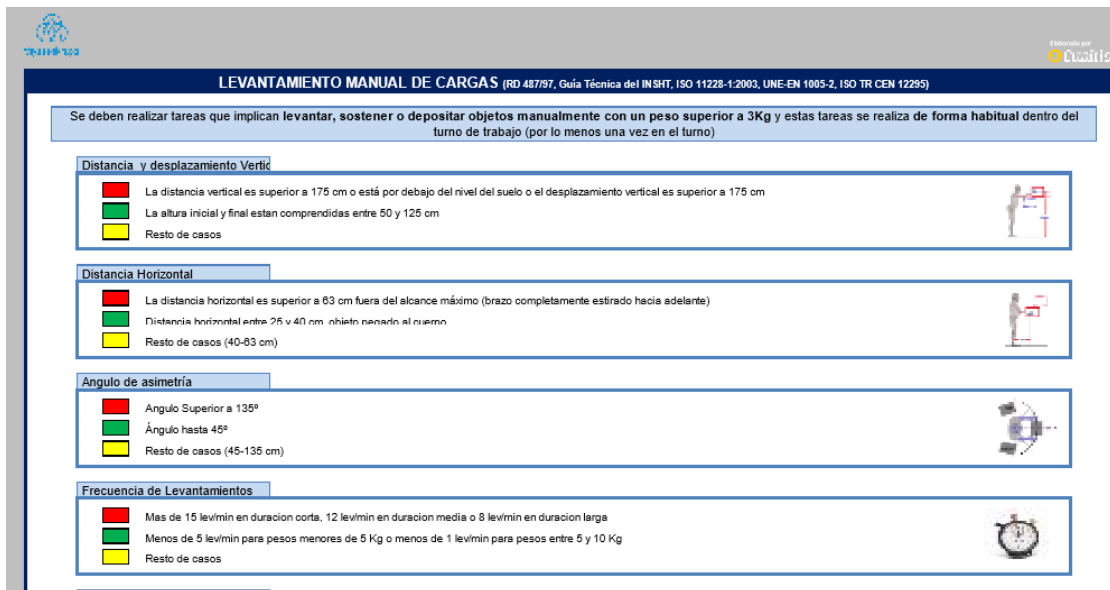




Figura 67. Criterios de cumplimentación Mapa ergonómico

Siguiendo la plantilla de restricciones, cumplimentamos el mapa ergonómico para todos los puestos de trabajo que conforman la línea.





MAPA DE EVALUACIÓN BÁSICA DE RIESGOS ERGONOMÍCOS

PUESTO DE TRABAJO	LIMITADORES PUESTO ACABADO	CENTRO DE TRABAJO	Thyssenkrupp Elevator Manufacturing Spain
FECHA	15/04/2016		

IDENTIFICACIÓN		LEVANTAMIENTO DE CARGAS					TRANSPORTE	MOVIMIENTOS REPETITIVOS					EMPUJE Y TRACCIÓN				POSTURAS FORZADAS					
Nº	Nombre de la tarea, referencia, puesto, etc.	Distancia Vertical	Distancia Horizontal	Ángulo Asimetría	Frecuencia	Peso	Masa Total	Nº acciones Técnicas	Postura Brazos	Fuerza	Postura de Mano	Posturas	Duración	Fuerza ejercida	Altura Apoyo	Duración	Postura Tronco	Postura Tronco	Postura Codo	Postura Brazo	Postura Muñeca	Postura Puntos
10	Coger bandeja de limitador.																					
20	Colocar Limitador en mesa de trabajo y bandeja en carro de bandejas																					
30	Verificación visual de lacrado y fijación pista																					
40	Colocar conectores hembra en conectores macho																					
50	Embridar cableado y cortar puntas																					
60	Montar soporte conexiones																					
70	Montar conectores en soporte																					
80	Etiquetar y montar tapa																					
90	Grar Limitador																					
100	Montar protección de cable																					
110	Montar protección superior																					
120	Pegar etiqueta en declaración CE																					
130	Coger limitador junto con etiquetado y declaración CE y meter en caja																					
140	Meter base en caja, si lleva																					
150	Fabricar bolsa de protección y colocarsobre Limitador																					
160	Enviar producto acabado a precintadora																					
170	Etiquetar caja																					

Tabla 14. Mapa ergonómico Puesto de Acabado SG-N en TKEMF

Obtenemos un % de ergonomía de la línea de un 96% en acciones verdes, es decir, sin riesgo, y un 4% de acciones en amarillo.

Es necesario realizar un estudio más en profundidad para poder valorar si ese 4% es necesario atacarlo o no.

6.5. AUDITORÍAS 6s

Las 5S fue un programa desarrollado por Toyota para conseguir mejoras duraderas en el nivel de organización, orden y limpieza; además de aumentar la motivación del personal.

La operatividad concreta de estos principios se instrumenta implantando una estrategia denominada y conocida internacionalmente como las 5 S por provenir de los términos japoneses:

seiri: subordinar, clasificar, descartar

seiton: sistematizar, ordenar

seiso: sanear y limpiar

seiketsu: simplificar, estandarizar y volver coherente

shitsuke: sostener el proceso, disciplinar

En ThyssenKrupp hablamos de 6S porque a estas 5 anteriores hemos añadido una más: la Seguridad.

A continuación se muestra la plantilla de 6S utilizada en TKEMF.


EQUIPO:	Regla de evaluación		Auditor	Fecha	
<i>Malgastar es utilizar más de lo absolutamente necesario herramientas, equipos, materiales, recursos, espacio, dimensiones y horas de trabajo.</i>		0 = no se cumplen los requisitos 1 = se cumplen totalmente los requisitos			
Categoría	Detalles		Evaluación	Comentarios	
1. Clasificación	Cuidar la ordenación y clasificación de todos los elementos innecesarios				
<i>¡Distingue entre lo que se necesita y lo que no!</i>	1.1	Herramientas, recambios, dispositivos y equipos que NO son necesarios se han retirado del área de trabajo.			
	1.2	Materiales, stocks y piezas que NO son necesarios se han retirado del área de trabajo.			
	1.3	Los pasillos, vías de acceso, escaleras, puertas, distribuidores de corriente, extintores, salidas, etc. están despejados.			
	1.4	No hay peligro de seguridad en lo que respecta a productos químicos, máquinas, líquidos derramados, etc.			
	1.5	No hay información desactualizada o no necesaria en los paneles o paredes.			
2. Orden	Organizar y etiquetar, fijar límites en las cantidades				
<i>¡Un sitio para todo y todo en su sitio!</i>	2.1	La ubicación de herramientas y materiales está claramente marcada y señalizada, ya sea en el suelo, estanterías, carros de herramientas, etc.			
	2.2	Las herramientas y materiales están etiquetados y/o incluye en la etiqueta el lugar de almacenamiento. Además las herramientas y equipos que requieran calibraciones, están realizadas y con la pegatina actualizada correspondiente.			
	2.3	Los pasillos, vías de acceso, áreas de trabajo, lugares de almacenamiento, salidas de emergencia y zonas peligrosas están señalizados			
	2.4	Las herramientas y equipos se guardan después de utilizarse.			
	2.5	La altura de las pilas de almacenamiento y el número máximo de lotes están claramente indicados.			
3. Limpieza	Limpiar todo, tanto por dentro como por fuera				
<i>¡Mantenga el lugar de trabajo limpio y ordenado!</i>	3.1	Los suelos, paredes (altura de 1,5m), escaleras y superficies están libres de suciedad, grasa, etc.			
	3.2	Los equipos y las áreas de trabajo están libres de suciedad, grasa, etc.			
	3.3	En el área de trabajo hay productos de limpieza apropiados			
	3.4	Las líneas, etiquetas, señales, etc. no están sucias, dañadas y/o poco visibles			
	3.5	Deben planificarse y efectuarse otras tareas de limpieza diferentes a las realizadas habitualmente			
4. Normalización	Utilizar normas y listas de comprobación				
<i>¡Mantenga y controle que se cumplan las normas!</i>	4.1	Existen normas para mantener un lugar de trabajo limpio y seguro (p. ej. instrucciones de seguridad, manipulación y almacenamiento de materia			
	4.2	Se utilizan listas de comprobación para la limpieza y el mantenimiento			
	4.3	Las normas están visibles en el área de trabajo y los trabajadores están informados			
	4.4	Puede identificarse fácilmente el indicador de nivel mínimo-máximo para el aceite, la presión y otras dimensiones físicas importantes			
	4.5	Los artículos de trabajo necesarios pueden encontrarse en menos de 30 segundos			
5. Sostenimiento	Mantener la disciplina en todo el sistema y la sostenibilidad				
<i>¡Mantenga los procedimientos establecidos!</i>	5.1	El personal del área de trabajo se ha formado con la metodología 6S			
	5.2	Existe y se utiliza un espacio para guardar las pertenencias personales			
	5.3	Existen normas y listas de comprobación 6S actualizadas, y se realizan y registran auditorías regularmente			
	5.4	Las señales para el flujo de material, el almacenamiento de material no conforme, FIFO y para un trabajo normalizado están visibles y se cumple			
	5.5	Existe un proceso establecido para revisar y renovar regularmente las señales			
6. Seguridad	Garantizar un lugar de trabajo seguro				
<i>¡Fomente la seguridad, la preocupación por la seguridad y mantenga un lugar de trabajo seguro!</i>	6.1	Los empleados y el personal externo utilizan los equipos de protección individual adecuados			
	6.2	Se dispone de una evaluación de riesgos en el puesto de trabajo y se cumplen medidas de seguridad establecidas			
	6.3	Se dispone de formación e instrucciones de seguridad específicas para el puesto de trabajo y el personal externo está documentado			
	6.4	Las zonas y equipos peligrosos (p. ej., herramientas eléctricas, mecanismos elevadores, centro automatizado de chapas metálicas, equipamiento hidráulico), están bien señalizados, en correcto estado de funcionamiento y se revisan regularmente			
	6.5	Existen planes de emergencia conocidos por el personal y se llevan a cabo regularmente simulacros de emergencia			
Versión	1.3	Total			
Publicación	Agosto'16	Resultado = Total / 5			

Tabla 15. Formato 6S TKEMF

6.6. SOSTENIBILIDAD

Como punto a favor de la utilización de recipientes retornables con el proveedor como por ejemplo las gavetas se ha conseguido aumentar la sostenibilidad de la fábrica. Anteriormente a la creación de la línea de producción los proveedores entregaban los pedidos en cajas de cartón, los cuales generaban un alto grado de residuos. Una vez puesta en marcha la utilización de gavetas retornables con proveedores, el objetivo de viabilidad del plan empresarial de prevención de envases se ha estimado como se muestra en la siguiente tabla, donde se pretende reducir un 25% el número de envases utilizados en 2 años. Estas mejoras muestran el cociente entre el número de kilos del envase entre peso de la pieza (Kr/Kp)

OBJETIVO A CONSEGUIR				
Kr/Kp Año 2015 sin mejoras	Kr/Kp Año 2015 con mejoras	Kr/Kp Año 2016 con mejoras	Kr/Kp Año 2017 con mejoras	Reducción total anual % 2015-2017
0,004	0,003	0,003	0,003	25%

Tabla 16. Plan empresarial de reducción de residuos

Como ejemplo representativo podemos observar el cambio en las siguientes figuras.



Figura 68. Antes y después de almacenaje de material de proveedor

6.7. DATAMATRIX

El segundo objetivo dentro del grupo Thyssenkrupp después de la seguridad es la obtención de un alto grado de calidad en todos sus productos. Para ello se pensó en una herramienta fundamental como es el datamatrix. Mediante este proceso es posible obtener un registro de los materiales que precisa cada pedido obteniendo una trazabilidad ante posibles reclamaciones.



Figura 69. Ejemplo utilización del sistema Datamatrix



RESULTADOS

7. RESULTADOS

- Una vez llevada a cabo la modificación de la línea, y pasado el periodo de puesta en marcha por parte de todo el equipo, (Septiembre – Diciembre), con la línea estabilizada, con el nuevo proceso de montaje, regulación y acabado más interiorizado por parte de todos los trabajadores, comenzamos a comparar resultados a través de la matriz de pérdidas,

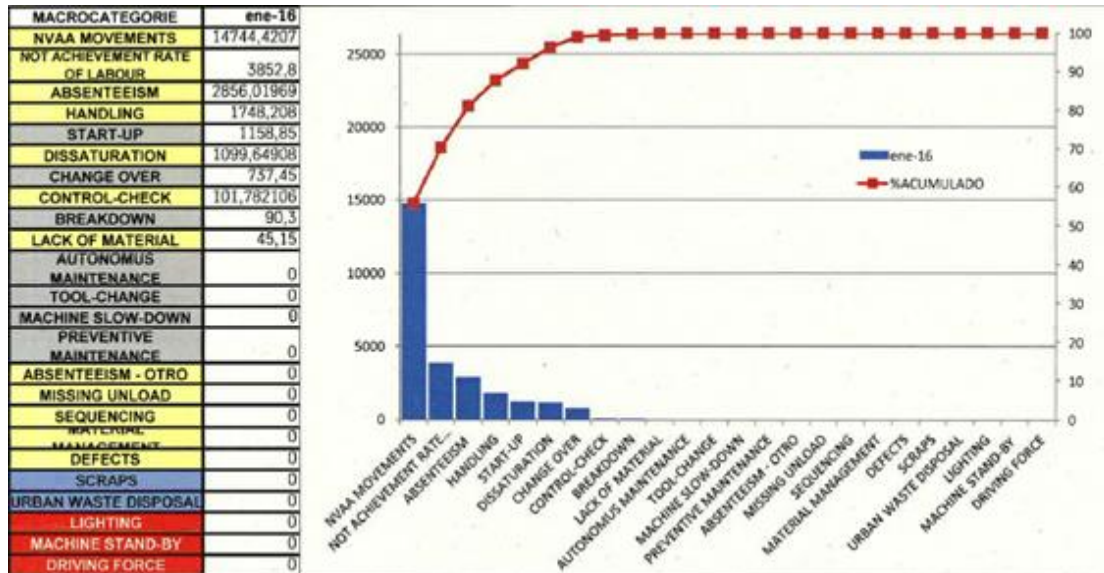


Gráfico 5. Matriz de pérdidas Enero 2016

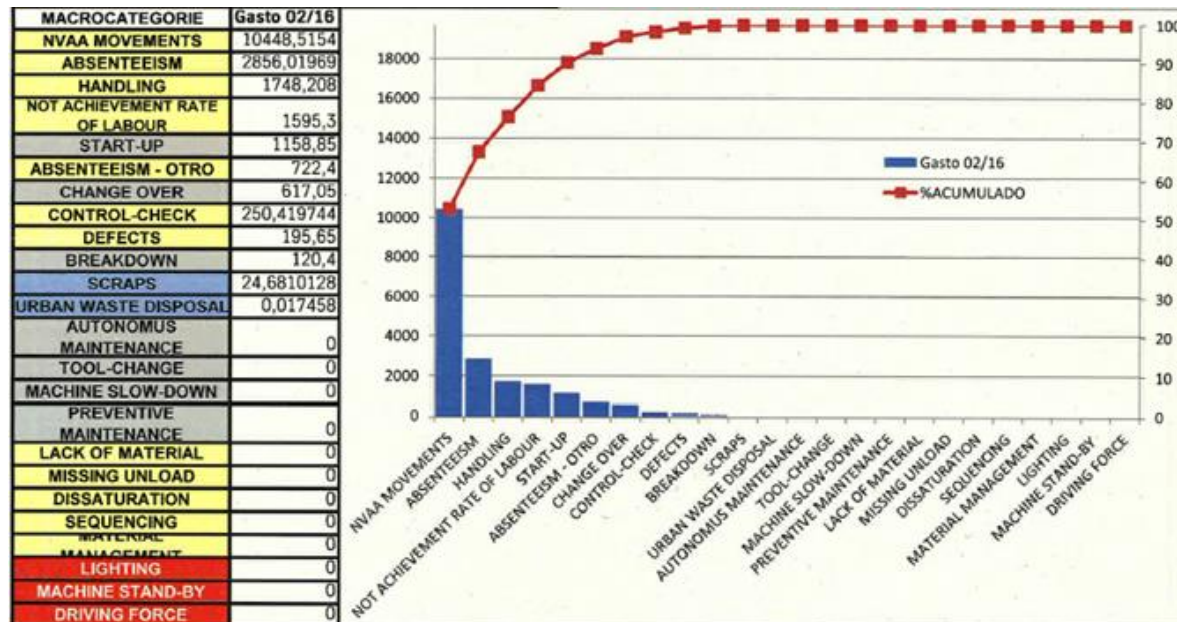


Gráfico 6. Matriz de pérdidas Febrero 2016

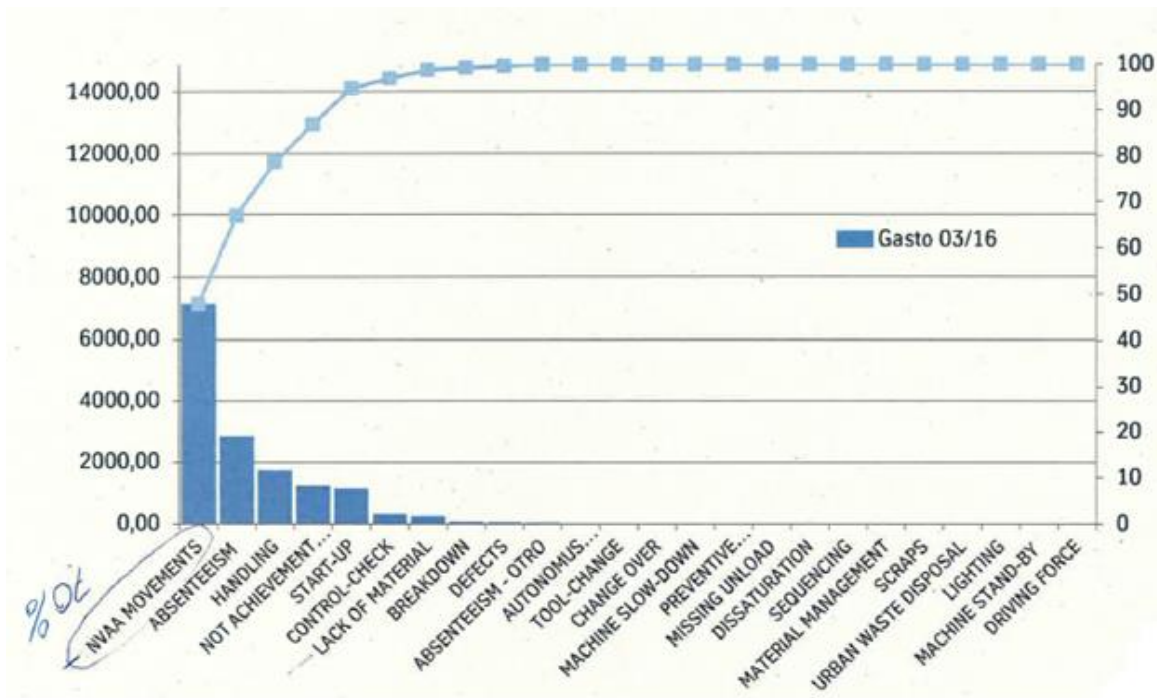


Gráfico 7. Matriz de pérdidas Marzo 2016

Tras los primeros 3 meses obtenemos que se ha conseguido reducir los NVAA con una tendencia negativa que se reduce mes a mes de un montante de 20.000€ a unos 7.000€ obtenidos en la matriz de gasto de Marzo 2016.

- Se consigue una reducción en el tiempo de Lead Time, tal y como hemos podido ver de una forma gráfica en el apartado de VSM-VSD de 25 horas por Limitador, a unas 8 horas. Esto suponen una mejora del 68% del tiempo ciclo.

OLD VSM - CURRENT VSM - VSD

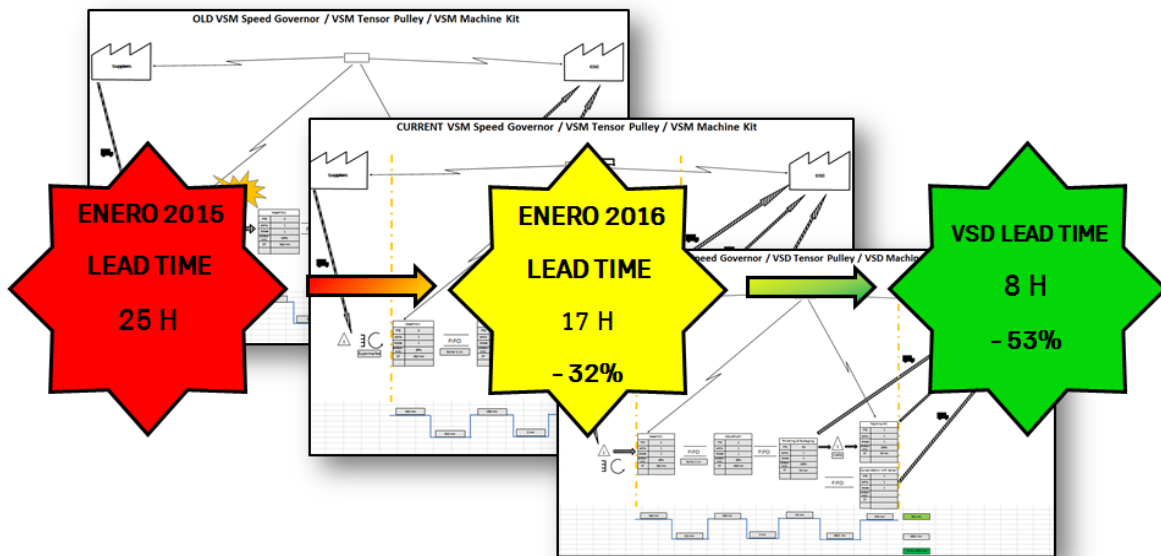


Figura 70. Mejora Lead Time Línea SG-N

- En cuanto a ergonomía se refiere, tras realizar con una empresa externa un estudio de ergonomía para analizar ese 4% de acciones en amarillo, se concluye, que existen riesgos leves de que a la larga el operario sufra lesión crónica provocada por el levantamiento repetitivo de peso en el puesto.

Se decide rediseñar el puesto de trabajo. Se propone modificar el puesto instalando un transfer automático, una línea de rodillos, y un manipulador con el fin de evitar que de 3 manipulaciones que hace por Limitador se reduzca a 1.



Figura 71. Mejora Muri propuesta para Puesto de Acabado SG-N

Tras la instalación nueva, conseguimos el objetivo obteniendo la siguiente comparativa:

BEFORE

COLOUR	TYPE OF ACTIONS	NUM. OF ACTIONS	%
PURPLE	PURPLE ACTIONS	0	
RED	RED ACTIONS	0	
ORANGE	ORANGE ACTIONS	0	
YELLOW	YELLOW ACTIONS	36	4%
GREEN	GREEN ACTIONS	1090	96%
	TOTAL ACTIONS	1126	100%

AFTER

COLOUR	TYPE OF ACTIONS	NUM. OF ACTIONS	%
PURPLE	PURPLE ACTIONS	0	
RED	RED ACTIONS	0	
ORANGE	ORANGE ACTIONS	0	
YELLOW	YELLOW ACTIONS	14	1%
GREEN	GREEN ACTIONS	1112	99%
	TOTAL ACTIONS	1126	100%

99%
GREEN
ACTIONS

Figura 72. Análisis de mejora ergonómica

- El cambio de la instalación y la modificación del Layout y del proceso de montaje suponen una de las mejoras más significativas en este proyecto, ya que conseguimos superar el objetivo marcado de incrementar la capacidad de la máquina en un 10%. Se obtiene una mejora de un 20% en la capacidad productiva por máquina, y se reducen en un 80% los desplazamientos en línea, lo que supone una reducción de costes de entorno al 20 % de las ineficiencias de la línea.

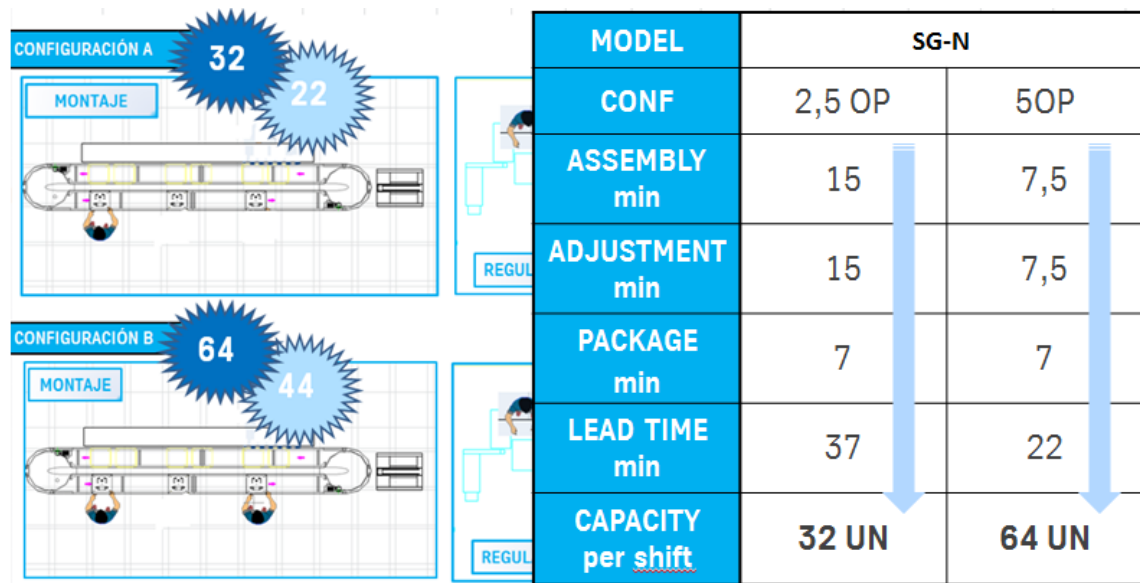


Figura 73. Capacidad de la línea por máquina de regulación.

7.1. DESARROLLO DE NUEVAS LÍNEAS DE TRABAJO.

7.1.1. TUERCA INVOLABLE

Los Limitadores de Velocidad son componentes de seguridad de la cabina. Esto supone una especial preocupación a la hora de garantizar, tanto la seguridad del cliente, como la responsabilidad que tenemos como empresa, que cada Limitador que se fabrica cumple con los requisitos de Seguridad, Calidad, Proceso y Diseño.

Para ellos una vez que se ha realizado la regulación del Limitador, se sella taladrando una varilla roscada que marca la velocidad a la cual el Limitador debe de acuñar en caso de emergencia.

Esta operación de taladrado, desde un punto de vista ergonómico, como de tiempos es un punto a atacar.

Para ello estamos trabajando con lo que denominamos Tuercas Involables, con el fin de garantizar la no manipulación de los componentes una vez se expida fuera de fábrica.

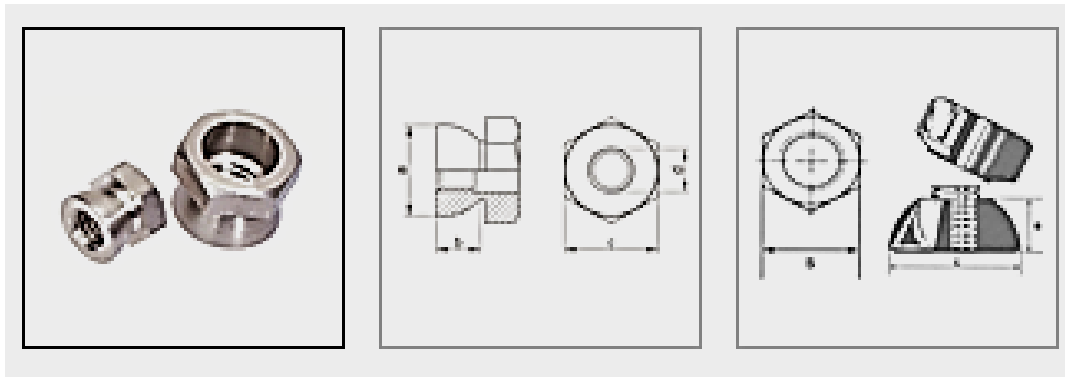


Figura 74. Análisis de mejora ergonómica

Se trata de tuercas conformadas por dos piezas, tal y como se muestra en la figura. Esta tuerca, cuando llega a un par específico, rompe, dejando únicamente en el montaje la superficie cónica fijada, de tal manera que el elemento mecánico cónico no puede ser manipulado, y en caso de que así se intente, queden pruebas de ello.

El análisis que se ha realizado es el siguiente:

MEJORA	CATEGORÍA	S/N MEJORA			C/ MEJORA			Desviación/ año
		CÓDIGO	coste/un	€/año	CÓDIGO	coste/un	€/año	
TUERCA INVOLABLE	MATERIAL	1000022103 Pasador	0,01 €	80,00 €	Tuerca Inviolable	0,15 €	1.200,00 €	1.440 €
		1000042401 Precinto seguridad	0,17 €	1.360,00 €		- €	- €	
		1000021332 Tuerca almenada	0,09 €	720,00 €		- €	- €	
		1000022090 Alambre precinto	0,06 €	480,00 €		- €	- €	
	PROCESO	TOTAL		2.640,00 €	TOTAL		1.200,00 €	Desviación/ un
		TIPOLOGÍA	CEN	€/CEN	TIPOLOGÍA	CEN	€/CEN	
		TIEMPO CICLO	24	10,32 €	TIEMPO CICLO	20	8,60 €	
		CAPACIDAD MÁQUINA	32 UN		CAPACIDAD MÁQUINA	36 UN		4 un

Tabla 17. Análisis de coste Tuerca Inviolable

Se conseguiría un ahorro de material de 1440 €, se conseguiría una reducción de costes por cada Limitador en torno a 2€/un, y supondría una mejora de la capacidad productiva de la máquina en 4 unidades más al turno.

7.1.2. RFID

Comienzo de la realización de pruebas con etiquetado RFID: Como se ha comentado anteriormente, la falta de material ha aumentado con respecto a la matriz anterior, por lo que con el objetivo de paliar este aumento, además de la mejora logística, se está empezando a trabajar con otra técnica de etiquetado llamada RFID.

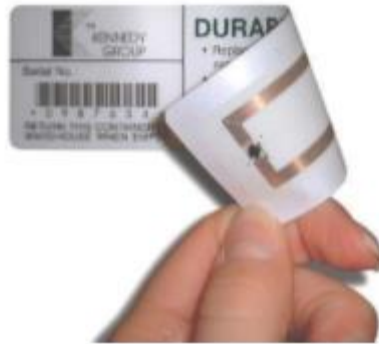


Figura 75. Etiqueta RFID

Esta tecnología existente en otros mercados como el textil, presenta retos en la industria del metal al ocasionar problemas con la radiofrecuencia pero que puede permitir mejorar el flujo de los materiales recepcionando y expidiendo materiales al paso de los mismos por arcos eléctricos similares a los existentes en las tiendas textiles.



Figura 76. Arco detector de código RFID



PRESUPUESTO DEL PROYECTO

8. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Tras la puesta en marcha del proyecto un dato significativo que permite conocer el grado de efectividad del mismo es el análisis de retorno de la inversión. Para conocer este valor se han tomado los datos de las inversiones realizadas para la creación de la línea y se ha considerado el análisis de mejora de la productividad desde inicio septiembre de 2015, periodo a partir del cual se ha considerado como cerrado el proyecto.

8.1. INVERSIONES Y GASTOS

En la siguiente tabla se desglosan los diferentes puntos de las inversiones. Por una parte se encuentra el material que se ha comprado para la línea. Cabe destacar que no hay que sumar mano de obra de modificación de la instalación, ya que fue el personal interno de Mantenimiento quién realizó dichos cambios.

Denominación	Importe	Producto	Proceso
Gaveta plastipol EU-6417L	590,00 €		590,00 €
SpeedyPacker Insight 2013 SP5-6490	9.870,45 €	9.870,45 €	
B54D-D6 HERRAMIENTA HIDRAULICA OF.201048	2.595,00 €	2.595,00 €	
L7-P EMPALME PARALELO F.201048	2.062,00 €	2.062,00 €	
Gaveta plastipol k300/1 COLOR AZUL	456,00 €		456,00 €
Gaveta plastipol EU-6417L	118,00 €		118,00 €
Gaveta tayg mod. 52	120,00 €		120,00 €
Gaveta tayg mod. 51	70,20 €		70,20 €
Cubeta rect. azul 490x335x80 Congost	290,00 €		290,00 €
Caja 5 Adap con imán sin anillo KM653	13,39 €		13,39 €
Adaptador puntas 1/4" con iman	6,55 €		6,55 €
Cutter tipo compas ref. CMP-1	6,45 €		6,45 €
Cuchillas para cutter tipo compas COB-1	2,37 €		2,37 €
Escuadra de carpintero SRB 500	20,74 €		20,74 €
Porta puntas magnético 1380 05	2,50 €		2,50 €
Magnetizador 1340 01-B	2,81 €		2,81 €
Carro portabandejas de limitadores	358,76 €		358,76 €
Estanteria Odette modificada 3x2	565,80 €		565,80 €
Estanteria Odette modificada 3x2	2.847,45 €		2.847,45 €
PLATAFORMA GIRATORIA EUROPALET S/PL	1.695,30 €		1.695,30 €
BASTIDOR RODANTE REF 724 271-86	2.673,00 €		2.673,00 €
MARCO SUP. BASTIDOR REF 968 342-86	1.323,63 €		1.323,63 €
Separador bastidor 523215	324,72 €		324,72 €
	26.015,12 €	14.527,45 €	11.487,67 €

Tabla 18. Inversión Nueva Línea SG-N

8.2. RETORNO DE LA INVERSIÓN

En el análisis de retorno se ha contemplado la mejora de productividad que se ha conseguido en una vez implantada la modificación del proceso como del Layout de la línea.

Before			
High runners	Capacidad de regulación por máquina	Capacidad máxima de regulación	Nº Operarios requeridos
1013084101	26	52	5
1013084201	15	30	
After			
High runners	Capacidad de regulación por máquina	Capacidad máxima de regulación	Nº Operarios requeridos
1013084101	30	60	4,5
1013084201	22	44	
Comparativa			
High runners	Unidades reguladas	Nº operarios requeridos actualmente	Nº operarios requeridos futuro
1013084101	60	5	4,50
ROI			
High runners	Nº Operarios	Coste año/operario	Retorno inversión (años)
1013084101	0,50	48.000	0,83

Tabla 19. ROI Nueva Línea SG-N

Realizando una comparativa del antes y el después, podemos concluir que en un periodo ligeramente inferior a un año se conseguiría el retorno de la inversión realizada para este proyecto.



CONCLUSIÓN.

9. CONCLUSIÓN

Finalmente, siguiendo con la metodología Lean aplicada durante todo el proyecto, se repasarán los objetivos del proyecto.

SEGURIDAD

En cuanto al nivel de seguridad de la línea se han logrado mejorar los estándares que existían antes de crear la línea realizando mejoras en los procesos. Prueba de ello es que el número de incidentes en la línea se encuentra entre uno de los más bajos de toda la planta. A pesar de ello se debe seguir trabajando en este aspecto para mejorar.

CALIDAD

La calidad de la línea ha dado un salto cualitativo importante gracias a la implantación del sistema Datamatrix. Por normativa, los Limitadores de Velocidad, al tratarse de componentes de seguridad, tienen que llevar nº de serie y gestionar de una forma correcta la trazabilidad de los mismos. Con la implantación del sistema Datamatrix se ha conseguido tener trazados todos los Limitadores que se mandan a obra asociados a su orden de cliente, enlazando dicha información, con nuestro sistema de gestión SAP.

ENTREGAS A CLIENTE

Queda latente que la creación de la línea ha ayudado a suplir el aumento de demanda del producto por parte del cliente, elevándose la tasa de entrega que al inicio del proyecto se encontraba al 77% al 90% de media. Gracias a la toma de tiempos ha sido posible conocer la capacidad de la línea en diferentes escenarios en función de la carga de trabajo, realizándose un equilibrio entre el personal necesario y la planificación. Sin embargo, con el cambio de criterio y pasar a medir la OTD de una forma semanal a diaria, todavía no estamos en el objetivo marcado de 98%. A pesar de ello ya estamos muy cerca de conseguirlo.

PRODUCTIVIDAD

En términos productivos, resulta evidente que la metodología Lean Manufacturing, junto con sus sistemas kanban o FIFO entre otros, ayuda de forma notable a mejorar la productividad de la línea sin elevar el grado de saturación de los trabajadores. Con la modificación de la línea se ha conseguido balancear las operaciones de una forma correcta, reduciendo el ratio de Limitadores por persona en 0.5 operarios, y aumentando la capacidad de la máquina en un 20%



BIBLIOGRAFÍA

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ThyssenKrupp Production System (TKE) Handbook. 2015
- [2] ThyssenKrupp Production System (TKE) Handbook. 2016
- [3] <http://www.grupothyssenkrupp.com/>, (última consulta 25/05/2016).
- [4] <https://www.thyssenkrupp.com/brand/es/>, (última consulta 25/05/2016).
- [5] www.thyssenkrupp-materials-services.com/, (última consulta 25/05/2016).
- [6] Alberto Cámara Yagüe. "Estudio y optimización de un proceso productivo en Thyssenkrupp Elevator Manufacturing Spain", Trabajo fin de Master UC3M.
- [7] <http://www.monografias.com/trabajos89/evolucion-procesos/evolucion-procesos.shtml#ixzz4YsDu01yN>
- [8] Womack, JP; Jones, Daniel: "Lean Thinking".
- [9] Cuatrecasas, Lluís: "Volver a Empezar".
- [10] Belohlavek, Peter: OEE: Overall Equipment Effectiveness.
- [11] Bernández, Mariano L.: Desempeño humano. Global Business Press.
- [12] Kalpakjian, Serope; Steven R. Schmid; y Gabriel Sánchez-García (trad.): Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson Educación, 2002. 1152 págs.
- [13] Maldonado Villalva, Guillermo: Herramientas y técnicas lean manufacturing en sistemas de producción y calidad. México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ingeniería Industrial.
- [14] Palacio P., Álvaro: Herramientas de lean manufacturing. TPS (Toyota Production System) <http://www.autoreseditores.com/libro/321/alvaro-palacio-p/herramientas-de-lean-manufacturing.html>. 2012. www.autoreseditores S.A.
- [16] <http://www.autoreseditores.com/libro/210/alvaro-palacio-p/total-productive-maintenance-tpm.html>
- [17] Pineda Mandujano, Karla: Manufactura esbelta. Gestiópolis.
- [18] Stephens, Matthew P.: Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales.